ANÁLISE ESTRUTUTURAL: AÇÃO DINÂMICA EM ESTÁDIO DE FUTEBOL

FERNANDA TELES AZEVEDO

Atena Editora

ANÁLISE ESTRUTUTURAL: AÇÃO DINÂMICA EM ESTÁDIO DE FUTEBOL

FERNANDA TELES AZEVEDO

Atena Editora

Editora Chefe
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Assistentes Editoriais
Natalia Oliveira
Bruno Oliveira
Flávia Roberta Barão
Bibliotecária
Janaina Ramos
Projeto Gráfico e Diagramação
Natália Sandrini de Azevedo
Camila Alves de Cremo
Luiza Alves Batista
Maria Alice Pinheiro
Imagens da Capa
iStock
Edição de Arte
Luiza Alves Batista
Revisão
A autora

2021 *by Atena Editora*
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2021 Os autores
Copyright da Edição © 2021 Atena Editora
Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.
Open access publication by Atena Editora

Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial
Ciências Humanas e Sociais Aplicadas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Atena Editora
Ano 2021

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant'Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
Prof. Dr.Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Atena Editora
Ano 2021

Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde
Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacl do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias
Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
ProFª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes
Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo
Profª DrªFernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico científico
Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará

Atena Editora
Ano 2021

Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atílio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Prof. Me. Marcos Roberto Gregolin – Agência de Desenvolvimento Regional do Extremo Oeste do Paraná
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof. Dr. Sulivan Pereira Dantas – Prefeitura Municipal de Fortaleza
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Universidade Estadual do Ceará
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Atena Editora
Ano 2021

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Análise estrutural: ação dinâmica em estádio de futebol

Bibliotecária:	Janaina Ramos
Diagramação:	Natália Sandrini de Azevedo
Correção:	Flávia Roberta Barão
Edição de Arte:	Luiza Alves Batista
Revisão:	A autora
Autora:	Fernanda Teles Azevedo

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A994 Azevedo, Fernanda Teles
Análise estrutural: ação dinâmica em estádio de futebol / Fernanda Teles Azevedo. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5983-286-6
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.866211507

1. Futebol. 2. Estádio de futebol. 3. Modos de vibração em estruturas. 4. Conforto humano. I. Azevedo, Fernanda Teles. II. Título.

CDD 796.334

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

Ano 2021

DECLARAÇÃO DA AUTORA

A autora desta obra: 1. Atesta não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao manuscrito científico publicado; 2. Declara que participou ativamente da construção do respectivo manuscrito, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certifica que o manuscrito científico publicado está completamente isento de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirma a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhece ter informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autoriza a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Atena Editora

Ano 2021

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access, desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce,* ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Atena Editora
Ano 2021

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais José Fernando Costa Azevedo e Simone Maria Teles Azevedo, por nunca terem medido esforços para me proporcionar um ensino de qualidade durante todo o meu período escolar. Sem eles, eu jamais seria quem sou.

A Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudos, mesmo com toda a correria diária.

Ao meu orientador e co-orientador, que conduziu o trabalho com paciência e dedicação, sempre disponível a compartilhar todo o seu vasto conhecimento.

Ao Professor Natal e Márcio de Oliveira Diegues pela grande ajuda no acesso a visita no Estádio Urbano Caldeira

Ao Professor Eduardo Soares Freire e Dr Noberto Domato, pessoas maravilhosas que concederam o acesso ao Estádio Urbano Caldeira para obtenção de dados para esse estudo.

Ao meu namorado Arthur Lewis Salcci, por toda confiança a mim depositada, me auxiliando em tudo que preciso.

PREFÁCIO

Quem nunca assistiu um jogo em um estádio de futebol? Aos que ainda não assistiram e pretendem assistir um dia, acreditem, é surreal. Mas, além da emoção do momento, ao assistir seu time do coração, você já parou para observar o que pode ocorrer com a ação da torcida na estrutura do estádio? São muitas incógnitas, e a partir da presença dessas ações desencadeou-se a curiosidade de estudos específicos voltados a essa análise estrutural. A visão de um profissional em Engenharia Civil vai muito além do que podemos observar, mas... aos que já estiveram em estádio de futebol, já reparou como a estrutura de um estádio age com a ação da torcida durante uma competição? É visível e vai muito além do que apenas uma vibração atuante. Com isso, a partir da leitura desse livro, é possível mergulhar-se na imensidão de fatores que envolvem na ação humana em comemorações em estádios de futebol, resultando em ações dinâmicas. Tais ações dinâmicas podem ocorrer em qualquer meio estrutural, tudo dependerá do tipo de carregamento exercido. Para obtenção e análise destas cargas são utilizados softwares distintos para maior apuração dos resultados, elaborados através de gráficos para melhor visualização. Ao estudo em questão, quando é mencionado em relação cargas atuantes, essas cargas correspondem ao conjunto de torcedores promovendo vibrações na estrutura do estádio.

Fernanda Teles Azevedo

SUMÁRIO

RESUMO

Projetos de estádios de futebol são preparados para suportar cargas dinâmicas provenientes da ação humana. Estádios de futebol também são utilizados para shows ou até mesmo eventos musicais e com isso as estruturas são submetidas a cargas dinâmicas. A atuação das torcidas organizadas, leva ao cenário de mudança de comportamento do público em jogos de futebol. Em 1995 no Estádio Urbano Caldeira houve a necessidade de um reforço estrutural na arquibancada, devido a problemas provenientes de vibração excessiva mediante ao esquema estrutural adotado. Com isso, a consideração de cargas dinâmicas nos projetos estruturais tornou-se mais efetivo. Fenômenos como ressonância podem resultar, quando em grande escala, ao colapso da estrutura. Essa consequência pode ser evitada de acordo com o projeto e normas que levem ao afastamento da frequência natural da estrutura da frequência crítica. O presente trabalho de pesquisa objetiva o estudo da resposta estrutural dinâmica das Arquibancadas do Estádio Urbano Caldeira. Para realização deste estudo, buscou-se programas de elementos finitos, onde é possível a obtenção de dados oriundos de carregamentos dinâmicos sob a estrutura. A modelagem numérica da estrutura analisada foi realizada através da utilização do *software* LISA e *software* ANSYS. Para modelagem das ações dinâmicas foram utilizados dados coletados através de uma pesquisa de campo e utilização dos dois *software*s para melhor obtenção de resultados. Logo, com os resultados obtidos neste estudo, pode-se observar a influência da frequência natural para a estrutura, quanto maior for a frequência natural em relação a frequência crítica, menor será o índice de desconforto humano e maior a segurança dos usuários.

PALAVRAS-CHAVE: Estádios de futebol, modos de vibração em estrututas, conforto humano.

ABSTRACT

Football stadium projects are designed to withstand dynamic loads from human action. Soccer stadiums are also used for concerts or even musical events and with that the structures are subjected to dynamic loads. The performance of organized fans, leads to the scenario of changing public behavior in football games. In 1995 at Estádio Urbano Caldeira there was a need for structural reinforcement in the stands, due to problems arising from excessive vibration due to the structural scheme adopted. As a result, the consideration of dynamic loads in structural projects has become more effective. Phenomena such as resonance can result, when on a large scale, in the collapse of the structure. This consequence can be avoided according to the design and standards that lead to the departure of the natural frequency from the critical frequency structure. The present research work aims to study the dynamic structural response of the stands of the Estádio Urbano Caldeira. In order to carry out this study, finite element programs were sought, where it is possible to obtain data from dynamic loads under the structure. The numerical modeling of the analyzed structure was performed using LISA software and ANSYS software. For modeling dynamic actions, data collected through field research and the use of both softwares were used to obtain better results. Therefore, with the results obtained in this study, it is possible to observe the influence of natural frequency for the structure, the higher the natural frequency in relation to the critical frequency, the lower the human discomfort index and the greater the safety of users.
KEYWORDS: Football stadiums, vibration modes in structure, human comfort.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANSYS	Swanson Analysis Systems
AUTOCAD	Software CAD
BEAM	Elemento de modelagem
CEB	Comité Euro-international du Béton
DWG	Tipo de extensor de arquivos
FCK	Resistência do concreto à compressão
FCRIT	Frequência Crítica
ISO	International Organization for Standardization
NBR	Norma Técnica Brasileira
SAP2000	Software Elementos Finitos
SHELL	Elemento de modelagem

INTRODUÇÃO

Na atualidade há maior evidência em se projetar estruturas mais esbeltas e flexíveis podendo gerar redução de valores de frequências naturais e com isso há a presença de carregamentos dinâmicos, pois, valores de frequências podem estar mais próximos de frequências de excitação do carregamento dinâmico. A análise do comportamento dinâmico das estruturas é primordial assim como a descrição das cargas dinâmicas atuantes. As cargas dinâmicas geradas induzem ao nível de vibrações excessivas, que levam ao desconforto humano, além de resultar em um risco para a segurança estrutural (BENTES, 2019).

Em casos de novos projetos no âmbito da construção civil, é primordial a consideração da ação dinâmica, resultando na garantia de frequências naturais mínimas a estrutura e a conformidade de limites máximos de velocidade e aceleração. Em casos em que há a verificação de uma construção já está realizada, estabelece o protocolo de identificação estrutural juntamente modelos numéricos-computacionais, conscientizando aos usuários em locais mais seguros e duradouros. Em locais como estádios de futebol, sala de dança, pontes, onde há vibrações excessivas, e ainda assim, em locais de atuação de ação dinâmica reduzidas como escritórios e residências, há grande intenso impacto humano (PENNER,BEREZOSKI, MOREIRA, 2018).

O presente trabalho tem como objetivo a análise estrutural dinâmica do Estádio Urbano Caldeira, em relação as arquibancadas quando submetidas a ação dinâmicas humanas(torcida). O estudo será baseado em dados coletados através da realização de uma visita de campo, empregando a utilização do *software* LISA e software ANSYS para modelagem da seção transversal da arquibancada de estudo e a obtenção de frequências, mediante o carregamento adotado, realizando um comparativo com a NBR 6118(2014) e bases teróricas descritas neste trabalho, verificando se a arquibancada em estudo atende as condições de conforto aos torcedores.

Através da obtenção dos dados necessários para a análise, analisou-se de forma mais abrangente, a importância dos modos de vibração e frequências naturais da estrutura. A consideração de afastamento da frequência natural da estrutura para frequência crítica, resulta em melhor conforto humano, diminui os índices de atuação do fenômeno ressonância, elevando os níveis de sustentação da estrutura quando submetida a cargas dinâmicas provenientes de ação humana.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

O objetivo do presente trabalho é o estudo da dinâmica estrutural em estádios de futebol aplicada as cargas oriundas de atividades humanas, analisando o comportamento estrutural através do estudo de vibrações e comparando as frequências naturais obtidas com modelagem em elementos finitos com os limites recomendados na NBR 6118:2014.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a seção transversal da arquibancada do Estádio Urbano Caldeira.
- Realizar uma visita de campo no Estádio Urbano Caldeira.
- Obter valores de frequências através de *software* de elementos finitos.
- Fazer um comparativo entre dois *software*s: LISA e ANSYS.
- Análisar diferentes modos de vibração.

JUSTIFICATIVA

Durante o processo de graduação, grande parte de Engenheiros Civis, não obtiveram estudos específicos sobre os efeitos dinâmicos das cargas em obras. Atualmente, com o avanço da tecnologia, há diversos meios de avaliação desses efeitos. O conhecimento e análise dessa ação dinâmica nas obras é primordial, com isso, é necessário realizar o estudo do comportamento de uma estrutura física, quando submetido a forças.

Em projeto de novas obras na construção civil como academias, estádios ou até mesmo em pontes, é de suma importância a consideração do efeito dinâmico das ações, para que haja a garantia das frequências de vibração mínima para a estrutura de acordo com a norma. Nesse grupo de construções descritas, as vibrações são predominantes, com isso, os ensaios experimentais e/ou computacionais, em ambientes reais ou simulados, são realizados para a investigação.

Segundo Almeida e Paiva (2009) em um laudo técnico de vistoria realizado no estádio Urbano Caldeira, em 1995 houve a necessidade de um reforço estrutural na arquibancada, devido a problemas provenientes de vibração excessiva mediante ao esquema estrutural adotado.

Com a consideração do efeito dinâmico nas estruturas, ressalta-se a queda de parte da arquibancada do estádio Urbano Caldeira sobre três camarotes em 2017. Durante obras nesse mesmo ano, o estádio teve uma arquibancada demolida e, com isso, houve a interdição da área. Tais acontecimentos propiciam cada dia mais conhecimentos e análises do projeto e sua utilização (SILVA, 2017).

Com base nas transformações arquitetônicas em projetos dos estádios de futebol, se faz necessário o estudo de ações dinâmicas nas estruturas, resultando em melhor conforto aos usuários, evitando futuros acidentes decorrentes de mal dimensionamento de estrutura e análise das vibrações.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O conceito de dinâmica das estruturas pode ser identificado baseando-se no princípio da realização de um estudo dinâmico estrutural. A relação que ocorre entre o público e a estrutura pode desencadear sistemas de graus de liberdade ao sistema, que podem ser resolvidos através de soluções matemáticas. Para o desenvolvimento da análise de um projeto é necessário que haja a consideração da NBR correspondente ao tipo de operação do projeto e com isso é possível identificar a possibilidade de um erro estrutural ou até mesmo condições insatisfatórias.

DINÂMICA DAS ESTRUTURAS

As estruturas são sistemas físicos que são capazes de transmitir esforços, quando sujeitos a ações externas. Essas ações podem variar de acordo com posição, direção e/ou sentido. As ações nas estruturas podem ser denominadas como dinâmica nos casos de desenvolvimento de inércia significantes. Essa ação dinâmica geralmente é decorrente de atividade humana como: correr, pular e ou dançar. Além da atividade humana, a ação dinâmica também pode ser proveniente de vento ou explosões. O conjunto de ações que causam vibrações nas estruturas, podem produzir elevados níveis de vibração, os quais podem tanto comprometer a segurança estrutural como causar alteração na sensação de conforto dos ocupantes dessas estruturas (SILVA,2007).

As vibrações, em algumas particularidades, são benéficas. Sendo encontradas em instrumentos musicais, parques de diversão, adensamento de concreto. Com o aumento dos limites da resistência do concreto e do aço, com o desenvolvimento da tecnologia na construção, as edificações têm sido projetadas cada vez mais esbeltas e com grandes vãos, mais suscetíveis a vibrações. Portanto, em projetos estruturais, é necessário identificar as ações externas dinâmicas e determinar o efeito e a relevância das consequentes oscilações para o controle destas ações, com o adequado dimensionamento dos componentes estruturais (PASQUETTI, KRIPKA, MEIRA,2015).

Modelar cargas dinâmicas não é algo simples quando induzidas por seres humanos, pois, quando executam uma determinada atividade, os carregamentos gerados envolvem aspectos individuais que são distintos. O carregamento dinâmico pode variar ao longo do tempo em virtude de sua direção e posição. Com isso, as respostas das estruturas, em termos de deslocamento, velocidade e aceleração também irão variar ao longo do tempo (PASQUETTI, KRIPKA, MEIRA,2015).

O objetivo fundamental da análise dinâmica baseia-se na definição dos deslocamentos máximos e das propriedades dinâmicas atuantes em um sistema estrutural. Frequências naturais de vibração associados aos modos de vibração são características essenciais de uma estrutura. Um determinado ponto da estrutura, pode sofrer deslocamentos com a atuação de acelerações, gerando forças de inércia, com isso, dependendo das propriedades do sistema estrutural, essa força pode ou não ser desprezada (PASQUETTI, KRIPKA, MEIRA,2015).

Através desse fato, uma determinada carga aplicada provocará um efeito dinâmico na estrutura dependendo da resposta desse sistema. Assim, pode-se prever a resposta

estrutural realizando uma comparação entre a frequência natural de vibração com a frequência da solicitação. Caso elas coincidirem, há a atuação do fenômeno ressonância, onde, com o aumento dos deslocamentos, pode atingir a ruptura da estrutura (PASQUETTI, KRIPKA, MEIRA,2015).

Estudo Dinâmico

Na Figura 1 é possível observar a associação que há na análise de sistemas dinâmicos. Essas atividades podem ser classificadas em três grupos: Projeto, Análise e Teste. Nesse estudo a ênfase torna-se superior em relação as análises.

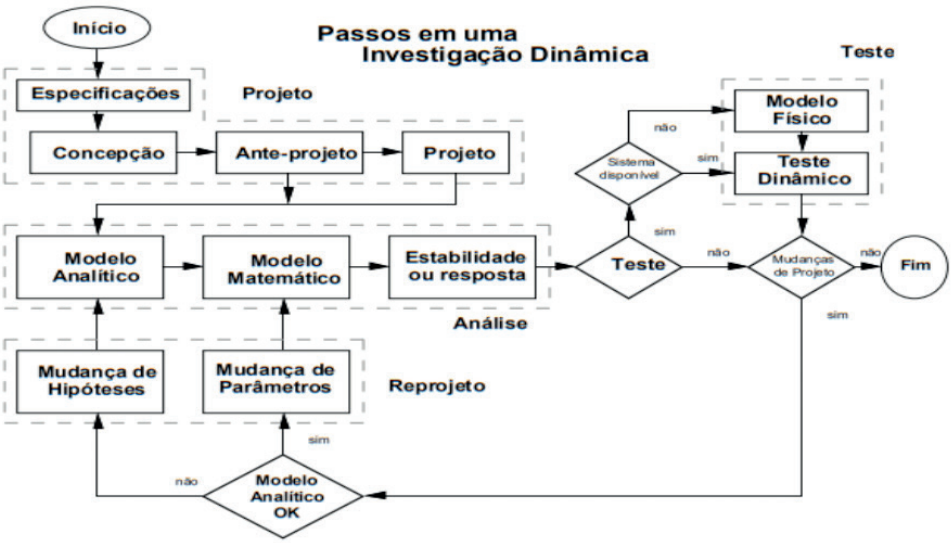


Figura 1-Análise Dinâmica

Fonte: (BRANDÃO,1996)

O projeto é um processo que demanda atenção e análise, pois requer muito conhecimento por parte do responsável pelo projeto. Com isso, o projeto inicia-se pela especificação de requisitos que devem ser atendidos.

Mediante a análise dos requisitos propostos, pode-se inicializar a etapa da concepção. Esta etapa é de suma importância para dar sequência as etapas seguintes. Nela, o responsável pela obra realiza uma criação própria de um projeto que ainda sairá do papel, com isso, ainda é algo inexistente. Logo, é importante que se tenha atenção ao percentual de erros cometidos, pois, eles irão indicar a viabilidade ou inviabilidade econômica.

Na fase do ante-projeto a concepção gerada é aprofundada, tomando forma com o detalhamento suficientes para convencer as ideias propostas. Caso seja aprovado, pode-se iniciar o projeto propriamente dito, realizando o maior detalhamento possível.

A análise compreende três fases distintas:

I. Modelamento Analítico – Com a criação do sistema, o modelamento analítico, é adota o conjunto de hipóteses e simplificações permitindo a elaboração de um modelo matemático. Consiste em aproximar as hipóteses, desenhos e parâmetros para um sistema real físico.

II. Modelamento Matemático - a partir de um modelamento analítico pode-se, então, gerar as equações de movimento do modelo adotado. Para obtermos essas equações diferenciais de movimento e suas condições associadas (iniciais e/ou de contorno).

III. Comportamento Dinâmico – Nessa etapa consiste na resolução das equações e suas condições. Com isso, é possível de determinar características de estabilidade do sistema ou resposta dinâmica do modelo analítico.

O teste tem por objetivo coletar os dados a serem comparados com análises teóricas e servir de base para processos de decisão relativos ao projeto, validando o modelamento analítico e determinar as falhas do projeto, caso haja. Os testes dinâmicos exigem profundo conhecimento em sensores, instrumentos de medição, o, integração de sistemas de aquisição de dados, processamento e interpretação de resultados e, finalmente, emissão de recomendações para melhoria do produto, com o suporte de simulações computacionais.

SISTEMAS DE UM GRAU DE LIBERDADE

Segundo GONDIM (2003), a compreensão de vibração é obtida através de um equilíbrio. Um sistema estará em equilíbrio quando a resultante de todas as forças atuantes é nula. Qualquer processo que esteja sob uma condição de equilíbrio, somente sairá dela quando por alguma razão houver uma perturbação externa. A variação ocorrerá quando a atuação da perturbação apresentar o retorno a posição de equilíbrio. A medida que a energia permanecer ativa no sistema o movimento de oscilação continuará.

O estudo de sistemas vibratórios pode ser compreendido em sistemas simples que ilustram particularidades fundamentais capazes de conceder a análise de um conjunto de fatos presentes em sistemas de maior complexidade. Sistema de um grau de liberdade corresponde a uma reduzida parte dos sistemas reais atuantes no mundo físico. No entanto, esse sistema mostra características que esclarece o entendimento de maior parte dos aspectos básicos presentes em sistemas complexos. Ressonância, balanceamento e isolamento podem ser compreendidos em sistemas de um grau de liberdade e até mesmo em casos com problemas de maior extensão (GONDIM,2003).

O conceito de ressonância deve ser relembrado quando há sistema de vibrações envolvidas. A ação humana presente em estruturas de estádio de futebol ou até mesmo em outras edificações em que pode ocorrer esses efeitos, quando há uma determinada coincidência nas frequências envolvidas presentes com a ação humana em uma comemoração festiva, por exemplo, pode ocorrer um efeito fora do planejado em projeto.

Com isso, o conhecimento das frequências naturais do sistema como um todo e de seus componentes devem ser adotados, para que se possa evitar ressonância (SILVA,2009).

Segundo GONDIM (2003), é possível deduzir o comportamento com uma determinada simplicidade matemática ao criar um modelo simples para um sistema complexo. A vibração livre surge quando o movimento é obtido através de condições iniciais, não havendo nenhum fator externo atuante durante o mesmo. O movimento de um pêndulo, conforme ilustra Figura 2, é um exemplo de vibração livre. Ao ser largado, com uma determinada situação inicial (ângulo), ele irá mover livremente.

Na Figura 2 há duas situações de exemplificação. A situação de equilíbrio e a situação de desequilíbrio. Para cada situação, há 3 condições. Na situação de equilíbrio (A, B, C) o objeto tem autocontrole, com condições de equilíbrio. Já na situação de desequilíbrio (A',B',C') o pêndulo pode mover livremente ao ser largado, assim como a bola pode rolar na direção do vetor, e sequencialmente a condição de dois quadrados apoiados no centro fixo, a rotação irá tender ao lado do quadrado que obtiver maior massa.

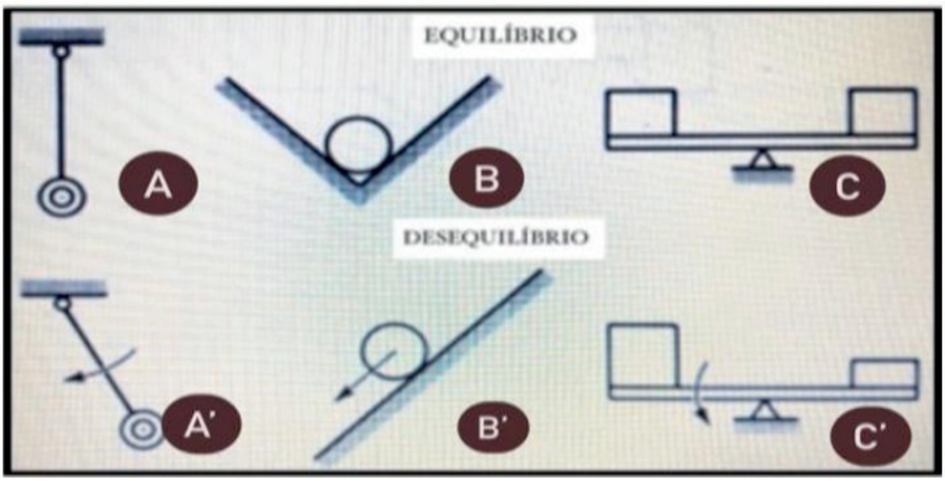


Figura 2- Equilíbrio nos sistemas físicos

Fonte: BONI, PAULO (2020)

O resultado de um sistema vibratório necessita, geralmente, das condições iniciais e fatores externos. Isto resulta na necessidade de determinação de um procedimento de análise que proporcione a compreensão da influência de cada um desses fatores. O método usual inicia com a fundação de um modelo físico, determinação das equações diferenciais que domina o movimento (modelo matemático), solução destas equações e compreensão dos resultados.

SISTEMA DE MÚLTIPLOS GRAUS DE LIBERDADE

Em um planejamento de uma estrutura é importante a realização de estudos de vibração. Na maioria dos projetos de engenharia são realizadas certas reduções no

modelo estrutural, transformando um modelo com infinitos graus de liberdade, em graus de liberdade finitos, de modo que a análise obtenha resultados aproximados (GONDIM,2003).

Segundo GONDIM (2003), o conceito de graus de liberdade está ligado as possíveis mudanças que um conjunto de corpos pode realizar em um espaço físico. Logo, um ponto material totalmente livre pode exercer deslocamentos nas três direções do espaço, portanto, três graus de liberdade. Esses graus de liberdade correspondem ao número de coordenadas necessárias para definir um deslocamento finito do ponto. Em virtude da dificuldade de obtenção de resultados de forma analítica, em geral se faz uso de cálculo numérico na realização das análises.

É denominado por vínculos as limitações impostas ao deslocamento dos corpos móveis. Os vínculos sempre reduzem os graus de liberdade. Dessa forma, se o deslocamento do ponto for restrito a um ponto, o número de graus de liberdade passará a ser dois e se for restrito a uma reta terá apenas um grau de liberdade (GONDIM, 2003).

Para cada grau de liberdade, existe uma única equação de movimento, cada equação obtida por meio da segunda lei de movimento de Newton. Com um sistema com *n* graus de liberdade, adquire-se *n* frequências naturais, cada uma associada com a própria forma modal. À medida que o número de graus de liberdade amplia, a solução da equação característica se torna mais complexa (GONDIM, 2003).

INTERAÇÃO PÚBLICO-ESTRUTURA

Faisca (2003, apud Lima, 2013) desenvolve um estudo experimental, com o propósito de apresentar carregamentos dinâmicos ocasionado por atividades humanas com perda de contato com a estrutura, em busca da influência da flexibilidade da estrutura nos parâmetros de carregamento, dentre eles; coeficiente de impacto, tempo de contato da pessoa com a estrutura, frequência fundamental e defasagem. Para obtenção dessa busca, foram feitos diversos ensaios com pessoas saltando em uma plataforma instrumentada, com e sem estímulo visual e sonoro e com diversas configurações de grupos e rigidez da plataforma, conforme Figura 3.



Figura 3- Estudo Experimental com carregamento humano

Fonte: (Lima, 2013)

Segundo Lima (2013), foram avaliadas as respostas da estrutura nas seguintes ocasiões: quando a estrutura está totalmente ocupada, quando o público está entrando antes do início do evento esportivo, após o final do evento esportivo, durante o intervalo do jogo (maioria espectadores sentados e alguns andando sobre a estrutura), quando as pessoas estão totalmente sentadas durante o jogo e quando as pessoas estão em pé na comemoração de algum acontecimento festivo da equipe em que está torcendo.

Em decorrência da avaliação das respostas de frequências naturais para os seis primeiros modos de vibração, os diversos tipos de situações que podem ocorrer em eventos esportivos citados no parágrafo anterior, podem-se perceber que todos os estágios de ocupação do público alvo tem a tendência de redução de frequência natural da estrutura, pois, nos quatro estágios de ocupação de pessoas, há um aumento na taxa de amortecimento em relação quando a estrutura está vazia, tal fato pode resultar na diminuição de frequência natural da estrutura (LIMA,2013).

Através da obtenção desses efeitos é possível dizer que a ocupação do público acrescenta não somente massa à estrutura, como também a interação com ela, levando autores a estabelecer um modelo simplificado de dois graus de liberdade para que assim possa simular a interação público- estrutura (LIMA,2013).

ANÁLISE DAS ARQUIBANCADAS DE ESTÁDIOS

De acordo com o manual de recomendações para a segurança e conforto nos estádios de futebol, é estabelecido planejamentos que devem ser seguidos por Arquitetos

e Engenheiros representantes de entidades esportivas a fim de promover maior segurança, conforto e eficiência em estádios de futebol (MANUAL DE RECOMENDAÇÕES NOS ESTÁDIOS, 2010).

Na Figura 4 pode-se demonstrar quatro tipos de zonas existentes ligadas entre si, que correspondem ao plano de segurança responsável por auxiliar a circulação de pessoas nos estádios com maior seguridade.



Figura 4- Zonas de Segurança

Fonte: (Manual de recomendações de segurança, 2010)

Zona 1: É a área de atividade, ou seja, a área central e/ou o campo onde os jogos acontecem.

Zona 2: São as arquibancadas dos espectadores e as circulações de público em torno da área de atividade.

Zona 3: É a área de circulação em volta da estrutura do estádio que o separa das cercas ou muros de seu perímetro.

Zona 4: É a área aberta fora dos limites do fechamento do perímetro do estádio e que o separam dos estacionamentos ou vias públicas.

Todo planejamento e escolha para as áreas de zoneamento conforme indicada na Figura 2 pode ser alterada em razão da necessidade e área disponível. A área dos espectadores, conforme indicada na Figura 2 pode ser idealizada de diversas maneiras, conforme um estudo realizado do local e NBR existentes.

A forma estrutural de um estádio de futebol é feita através de pórticos pré-

determinados, em que a altura dos degraus pode ser eleita por meio da análise de garantia dos espectadores, tendo amplo campo de visão, e consequentemente a altura dos degraus de arquibancadas superiores são maiores, para maior visualização do cenário.

Os degraus são apoiados em pórticos principais, que são localizados na parte inferior. Os pórticos principais além de sustentar os degraus, eles geralmente são responsáveis pelo desempenho dinâmico da estrutura. Em decorrência desse fato, arquibancadas que tenham grande porte, terão frequências naturais baixas (STOLOVAS,2010).

A presença de ressonância em sistema de um grau de liberdade pode ser controlada pela rigidez na horizontal do pórtico. Porém, quando se trata de arquibancadas de grande porte, torna-se difícil o controle da ação da ressonância exercida pela torcida, pois em uma arquibancada de grande porte os níveis de frequência natural estão abaixo de 6 Hz. (STOLOVAS, 2010).

Em comemorações em estádios de futebol, há uma diversidade de excitações que ocorre pela ação humana. Em casos em que o torcedor esteja sentado, a frequência natural média é de 5 Hz, o que corresponde uma taxa de amortecimento de 40%, porém, quando o torcedor está em pé a frequência natural média reduz para 2,3 Hz e com isso sua taxa de amortecimento reduz para 25%, ou seja quase metade do valor estabelecido quando o torcedor está sentado (STOLOVAS,2010).

Em decorrência de consequências em que o conjunto de elementos de um estádio de futebol está submetido, é importante que o responsável pela obra e elaboração de projeto tenha conhecimento pelos fenômenos que podem ocorrer por meio de sistema de um grau de liberdade e de múltiplos graus de liberdade. O manual de recomendações de segurança estabelece critérios que possam auxiliar em todos os aspectos de frequência e amortecimento anteriormente descritos.

No manual de recomendações pode-se identificar o comparativo realizado de arquibancadas de estádio de futebol que não possui cadeiras para maior conforto aos espectadores, essa ausência de cadeiras em arquibancadas resulta na condição de maior movimentação na área, e com isso, há predominância de maiores vibrações. Por esse fato, o padrão recomendado é a presença de cadeiras para maior conforto e menor condição de vibrações.

LIMITES NORMATIVOS

Baseando-se no assunto abordado neste estudo, pode-se realizar um levantamento de critérios normativos referente a vibração em estruturas. Nota-se que há muitos tópicos abordados na norma referente a vibrações em determinadas circunstâncias, entretanto, não é relatado especificamente de vibrações em estádios nesses tópicos.

Através da NBR 6118 de 2014, pode-se ressaltar para esse estudo o capítulo XXIII, que aborda a respeito de ações dinâmicas em estruturas de concreto. Neste capítulo, compreende-se em que as ações dinâmicas podem ocasionar por meio de vibrações excessivas na estrutura.

NBR 6118 (2014)

Para garantir um comportamento adequado das estruturas, quando elas estão sujeitas a vibrações, deve-se afastar ao máximo a frequência própria da estrutura (f) da frequência crítica (fcrit), porém, isso dependerá de qual será o propósito da edificação. Esse fator de afastamento de frequências própria e crítica, pode ser compreendido através da ressonância, que é abordado em sistema de um grau de liberdade deste trabalho.

A condição abaixo deve ser satisfeita:

$$F = (f > 1{,}2\ Fcrit) \qquad (1)$$

Onde:

F é a frequência natural da estrutura.

Fcrit é a frequência crítica.

Em casos em que esse regulamento não puder ser atendido, deverá ser realizada a obtenção de dados de forma mais criteriosa e abrangente, podendo obter em normas internacionais, se não existir norma brasileira específica.

Na falta de valores determinados experimentalmente, pode-se adotar os valores fcrit indicados na tabela de valores de frequência crítica para estruturas que estão sujeitas a ações dinâmicas de pessoas, conforme a Tabela 1:

Caso	**fcrit (Hz)**
Ginásio de Esportes e academias de ginástica	8,0
Salão de dança ou de concerto sem cadeiras fixas	7,0
Passarelas de pedestres ou ciclistas	4,5
Escritórios	4,0
Salas de concertos e cadeiras fixas	3,5

Tabela 1-Frequência crítica para vibrações verticais para alguns casos especiais de estruturas submetidas a vibrações pela ação de pessoas

Fonte: NBR 6118 (2014)

FIB (model code 2010) – antigo CEB 1991

Na tabela 2 são indicadas faixas de valores de aceleração vertical e relacionadas a níveis de percepção do usuário. A tabela foi elaborada por meio de valores coletados e comparados de diversos autores que pesquisaram sobre o assunto.

Descrição da vibração	Faixa de Frequência de 1-10 Hz Aceleração máxima (mm/s²)	Faixa de Frequência de 10-100 Hz Velocidade máxima (mm/s)
Apenas Perceptível	34	0,5
Claramente Perceptível	100	1,3
Desconfortável	550	6,8
Intolerável	1800	13,8

Tabela 2– Faixas de percepção humana devido à vibração na vertical

Fonte: CEB 209 (1991)

O levantamento é realizado em quatro situações: apenas perceptível, claramente perceptível, desconfortável, intolerável. Essas descrições de vibrações podem ser obtidas através de valores de aceleração e velocidade máxima, em relação ao intervalo de valores de frequências.

ESTUDO DE CASO

Nesse tópico é abordado a respeito das arquibancadas do Estádio Olímpico João Havelange, situado na cidade do Rio de Janeiro. A estrutura inicialmente concebida como estrutura moldada "in loco", foi constituída por peças pré-moldadas de concreto. Devido a essa alteração, se fez necessário a avaliação de comportamento dinâmico dessas peças obtidos através de ensaios e simulações.

Inicialmente, foi realizado dois protótipos de ensaios dinâmicos, porém, os modelos não atenderam aos valores recomendados pelo CEB 209 (1991). Com isso, houve embasamento teórico de comportamento dinâmico, que através da simulação numérica de método de elementos finitos, pôde-se resultar em ensaios para duas ocasiões distintas: a primeira sem a ligação entre as peças pré-moldadas e a segunda com ligação.

ENSAIOS DINÂMICOS

Conforme o detalhamento da geometria dos modelos, ilustrado na Figura 5, as peças pré moldadas foram apoiadas nas extremidades, foi estabelecido um vão de aproximadamente 10 metros. Para cada protótipo, foram utilizadas três peças, resultando em três degraus.

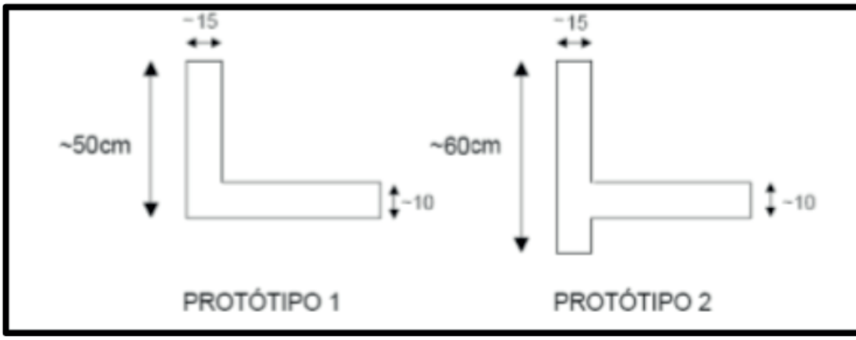


Figura 5- Detalhamento da geometria do modelo

Fonte: (JULIANI et al,2005)

No ensaio desse estudo, foi instalada uma rede de sensores para captar acelerações induzidas por pessoas nos degraus, sendo compatível com comportamento das torcidas em jogos e shows. Segundo JULIANI, Marco et al. (2005), foram utilizados acelerômetros e amplificadores para a coleta dos dados. Para eleger o equipamento mais adequado, é necessário considerar diversos aspectos, dentre eles; A sensibilidade dos sensores aos níveis vibracionais induzidos na estrutura, o campo de frequência para o correto funcionamento dos sensores, o número e a disposição dos sensores que permitisse uma correta descrição do comportamento dinâmico.

Para a realização desse teste, foram fixados os sensores na laje do degrau central do protótipo. A supervisão foi realizada em períodos de cerca de 10 minutos. A torcida que foi simulada para análise saltou fortemente. A frequência obtida em todos os intervalos foi de 200Hz, realizou-se dois ensaios em cada protótipo.

Segundo JULIANI, Marco et al. (2005), visando-se os níveis de conforto, de acordo com CEB/209(1991), cujos valores são representados na Tabela 2 do capítulo II deste trabalho, verifica-se que as acelerações máximas medidas estão entre os limites de “Desagradável” e “Intolerável”.

Os resultados máximos, que estão acima do nível de vibração “Desagradável”, indicam a necessidade de alteração do sistema estrutural ou de restrição quanto à utilização das arquibancadas. É importante ressaltar que, a torcida simulada saltava vigorosamente, com isso, podemos considerar que os valores obtidos estão acima dos máximos em condições reais de uso.



Figura 6- Geometria do modelo

Fonte: (JULIANI et al,2005)

Com a obtenção dos dados de frequência, e a indicação de alteração estrutural oriunda de dados representados na Tabela 2 do capítulo II. Segundo Segundo JULIANI, Marco et al. (2005), optou-se em aumentar a inércia da estrutura para reduzir as acelerações máximas produzidas pelo público e garantir um maior conforto ao público, conforme ilustração da geometria do modelo na Figura 6.

Análise numérica

Para a determinação da opção mais eficiente na estrutura proposta foram gerados os modelos da Tabela 3, utilizando o Método de Elementos Finitos, onde é mostrado o modelo, características, tipos de apoio, frequência natural e aceleração. Na Figura 7, demonstra-se o modelo MDC e modelo MDD. Ambos os modelos considera-se três peças pré-moldadas, o que diferencia é o número de ligações, no modelo MDC há três pontos de ligações, e no modelo MDD há seis pontos de ligação.

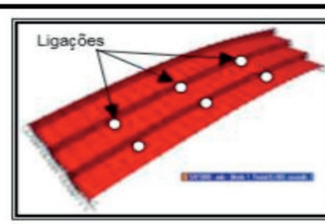
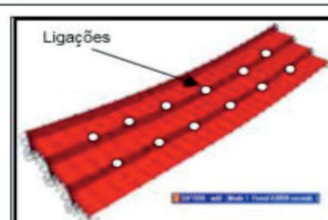
MODELO MDC: considera que as três peças pré-moldadas tem três pontos de ligação entre elas.	
MODELO MDD: considera que as três peças pré-moldadas tem seis pontos de ligação.	

Figura 7- Descrição dos modelos matemáticos

Fonte: (JULIANI et al,2005)

Os modelos foram elaborados com a utilização do programa SAP 2000. Esse tipo de programa é usado em análise dinâmicas com graus de complexidade e diferentes propósitos.

Modelo	Características	Vinculações dos apoios	Frequência natural teórica (Hz) / aceleração (mm/s²)
MDB	Conjunto de três peças sem ligações	Fixo- móvel	8,68 / 2060
MDC	Conjunto de três peças com ligações em três pontos	Fixo- móvel	9,42 / 970
MDD	Conjunto de três peças com ligação em seis pontos	Fixo- móvel	10,16 / 400
MDE	Peça única de arquibancada	Engaste- engaste	14,04 / 1450
MDF	Conjunto de três peças com ligação em três pontos	Engaste- engaste	17,06 / 100

Tabela 3- Resultados análise numérica

Fonte: (JULIANI et al,2005)

Após aplicar um carregamento dinâmico de acordo a proposta pelo CEB 209(1991), foi executado e ensaiado um outro protótipo (um misto entre o modelo MDC e MDD), conforme demonstra Tabela 3.

As peças foram ligadas em apenas cinco pontos, sendo que os seus resultados foram satisfatórios em termos de segurança e conforto. É de suma importância a interpretação dos dados e analisar qual o melhor modelo de acordo com a ocasião. Há expressões matemáticas que são fundamentais para aprofundamento dos testes e com elas, pode-se obter dados ilustrados na Tabela 3.

Segundo JULIANI, Marco et al. (2005), foi executado um protótipo o qual foi ensaiado e apresentou resultados satisfatórios. Contudo, foi realizado um ensaio em duas regiões da arquibancada: a primeira sem a ligação entre as peças pré-moldadas e a segunda utilizando essa ligação. Neste ensaio, foram identificados os valores máximos de aceleração e as frequências naturais das estruturas. Os valores encontrados foram comparados com valores limites preconizados pelo CEB 209 (1991). Foram feitas ligações com a finalidade de compatibilizar os deslocamentos entre elas, resultando no aumento da rigidez do conjunto estrutural, por meio de cantoneiras metálicas e chumbadores.

Ensaio	Posição	Aceleração máxima efetiva (mm/s²) (primeiro ensaio)	Aceleração máxima efetiva (mm/s²) (segundo ensaio)
SETOR SEM LIGAÇÃO	1 Z	1100	1170
	2 Z	1200	1260
	3 Z	1400	1800
	3 X	820	850
	3 Y	330	540
	4 Z	1100	1200
	5 Z	950	1100

SETOR COM LIGAÇÃO	1 Z	350	300
	2 Z	540	512
	3 Z	540	530
	3 X	470	390
	3 Y	100	90
	4 Z	411	380
	5 Z	320	290

Tabela 4- Acelerações máximas

Fonte: (JULIANI et al,2005)

Conforme Tabela 4, foi representado ensaio realizado em setor com ligação e sem ligação, com determinadas posições estabelecidas. Há aceleração máxima efetiva obtida no primeiro e segundo ensaio. Visando os níveis de conforto, pode-se notar a preocupação em relação a segurança e conforto para os futuros usuários, o que por si só já é um fato extremamente positivo na construção de obras públicas para milhares de usuários.

Segundo JULIANI, Marco et al. (2005), as acelerações máximas medidas na área sem elementos de ligação entre as peças pré-moldadas atingem valores próximos dos limites de “Intolerável” enquanto na região com elementos de fixação os valores de aceleração máximo estão próximos do limite do “desagradável”. É importante evidenciar que todos os casos, as acelerações ultrapassam os limites de “claramente perceptíveis”, logo, não serão raras as situações em que o público notará a vibração dos elementos estruturais.

MATERIAL E MÉTODOS

Por tratar-se de um estudo realizado em um estádio de futebol, a confirmação dos dados necessários para avaliação foi realizada através de uma visita de campo realizada no Estádio Urbano Caldeira. Dessa forma, foi possível a utilização dos softwares ANSYS e LISA como ferramenta computacional para modelagem deste estudo.

LOCAL DE ESTUDO

Neste trabalho foi realizada a análise estrutural dinâmica do Estádio Urbano Caldeira, mais conhecido como Vila Belmiro. Na Figura 8 pode-se observar a localização real do estádio obtida atráves do Google Earth, o estádio está destacado com um segmento de linha vermelha em seu entorno, onde também pode-se notar um símbolo central em amarelo no meio do campo do estádio indicando sua localização. O estádio fica localizado em Santos, na baixada Santista, cujo o endereço é Rua Princesa Isabel, s/n. Essa rua está localizada ao lado esquerdo da Figura 8.

Na Figura 8, há uma classificação em A, B e C, destacados em vermelho. Na classificação A trata-se de uma visão onde está localizado a Cidade do local em estudo, já a classificação B tem uma aproximação onde pode-se ver a localização dos bairros, já a classificação C é uma visão mais detalhada onde é possível ver toda a visão da localização de estudo.







Figura 8- Localização Estádio Urbano Caldeira

Fonte: (Google Earth,2020).

Atualmente, as quatro dimensões do estádio apresentam arquibancadas, uma porcentagem dessa dimensão é destinada ao público em pé, e parte dela é para público sentado. Nem todos os assentos são cobertos. O Estádio Urbano Caldeira há 16 portões de acesso ao público. Esses acessos são distribuídos nas quatro ruas que estão localizadas no entorno do estádio.

Na Figura 9 é possível visualizar o modo com que a setorização do estádio Urbano Caldeira é disposta, incluindo os respectivos portões e qual a localização de cada um deles. A análise estrutural dinâmica do presente trabalho foi determinada através do setor da arquibancada placar, localizado na Rua Princesa Isabel, numerada na Figura 9 como Arquibancada cadeira cativa 15, portão 13/14.



Figura 9- Setorização arquibancada estádio Urbano Caldeira

Fonte: (Vila Belmiro,2020)

A setorização do Estádio Urbano Caldeira é composta como ilustrado na Figura 9. Os portões um e dois são destinados para sócios. Os portões três, sete e oito são compostos por a arquibancada placar. O portão dez é composto por camarotes térreos. Os portões de treze a quinze são cadeiras cativas especiais e camarotes corporativos. A área da imprensa é localizada através do portão dezesseis. Onde há cadeiras descobertas são localizadas no portão dezessete. Arquibancadas para visitantes, tem acesso pelo portão vinte e um. A área de cadeiras cobertas de fundo possui acesso pelo portão vinte e dois. Há camarotes pelo acesso do portão vinte e três. Arquibancada superior e inferior por meio do portão vinte e quatro. Há também cadeiras cobertas nas laterais no portão vinte e cinco. A arquibancada superior tem seção de 203 e 204, com acessos pelos portões 21 e 24

De acordo com o Laudo Técnico de Engenharia I, realizado em 2012 por Luiz Fernando Paiva Vella, pode-se obter um resumo sobre a lotação do Estádio de acordo com sua setorização, resultando em um total de capacidade de usuários de 21732 pessoas, esses dados estão ilustrados na Tabela 5.

Setorização	Capacidade (Pessoas)
Sócio Contribuinte 1636	
Cativas	**1747**
Especiais	2376
8-9-10-11 Arquibancada Placar	3294
201-202-203-204 Arquibancada superior	6921
101- Cobertura Lateral	388
103 à 107 Cad. Coberta	866
Setor Visa	1818
17-18 Arquibancada Inferior Fundo	942
Camarote D.Pedro II	366
Camarote Térreo	210
Camarote Superior	200
Camarote Port.Necessidades Específicas	35
Camarote Patrocinador/Visitante	40
Imprensa	80
Rádio e TV	70
Tribunas Autoridades	36
Segurança/Orientadores	299
Ambulantes	158
Policiamento	250
Total	**21732**

Tabela 5- Dados lotação do Estádio Urbano Caldeira

Fonte: (Laudo Engenharia I, 2014)

Conforme Tabela 5, são apresentados dados de capacidade de pessoas nos setores do estádio Urbano Caldeira , e com isso, justifica-se a escolha da arquibancada estabelecida para estudos deste trabalho, pois na arquibancada Cadeira cativa 15, portão 13/14, localizada na Rua Princesa Isabel ilustrada na Figura 8, há uma capacidade de 1747 usuários. Trata-se de um setor onde a arquibancada deste estudo há melhor visão de jogo por estar no centro do estádio, resultando em vibrantes comemorações durante o jogo, com isso, há maior impacto na estrutura.

Com a escolha do setor para a realização do estudo, pode-se analisar o modo com que os pórticos estão dispostos, podendo determinar os pórticos principais, e demais

características da estrutura do Estádio. Por tratar-se de um projeto onde o objetivo tende a análise estrutural do estádio, torna-se importante a visualização estrutural do estádio em questão.

Na Figura 10 pode ser exemplificado o assunto abordado neste trabalho, em relação as cargas aplicadas nas arquibancadas oriundas de ação humana, com a presença da torcida em dias de disputa de jogos no Estádio Urbano Caldeira.



Figura 10- Vista da arquibancada com a presença de torcedores

Fonte: (Gazeta Esportiva, 2019)

Na Tabela 1 deste trabalho, há parâmetros em relação a frequência crítica para vibrações verticais quando submetidas a vibração pela ação humana, baseando-se nesse conceito, o estudo estrutural do estádio tem o direcionamento a esse parâmetro para a devida comparação de frequências. Juntamente a obtenção de frequências diante da análise estrutural, é possível classificar a percepção humana devido as frequências obtidas, conforme Tabela 2 deste trabalho.

De acordo com a setorização, o estádio urbano caldeira tem capacidade total de 21.732, porém, por medidas de segurança e conforto dos usuários é adotado uma capacidade de 16.068 pessoas. O estádio Urbano Caldeira é composto em concreto armado com 3 lances de arquibancada entre as ruas D.Pedro I e José de Alencar e 1 lance nas ruas Tiradentes e princesa isabel, conforme indicada na Figura 7. É composto por arquibancadas e setor administrativo de 5 pavimentos, sem subsolo e sem área de estacionamento. Todo o Edifício é sustentado por estrutura de concreto armado.

Na Figura 11, há o quadro de áreas de acordo com cada pavimento, totalizando cinco pavimentos. No quadro de áreas consta cada pavimento e sua respectiva localização ao entorno do estádio, são quatro ruas ao redor de todo o estádio. O total da área de acordo com o quadro de áreas é de 16.829,90 m².

QUADRO DE ÁREAS COBERTAS

	RUA PRINCESA ISABEL	RUA JOSÉ DE ALENCAR	RUA D. PEDRO I	RUA TIRADENTES	TOTAL POR PAVIMENTO
1º PAVIMENTO	3.966,80 m2	777,45 m2	668,15 m2	1.233,70 m2	6.646,10 m2
2º PAVIMENTO	763,05 m2	360,15 m2	101,80 m2	1.108,90 m2	2.333,90 m2
3º PAVIMENTO	1.327,10 m2	507,50 m2	512,20 m2	-	2.346,80 m2
4º PAVIMENTO	2.564,30 m2	692,20 m2	26,40 m2	-	3.282,90 m2
5º PAVIMENTO	1.438,35 m2	175,35 m2	606,50 m2	-	2.220,20 m2
TOTAL GERAL					16.829,90 m2

PLANTA — 3o.ANDAR

ESCALA 1:100

04/08

SANTOS FUTEBOL CLUBE

EST]ADIO URBANO CALDEIRA

VILA BELMIRO

R. PRINCESA ISABEL, S/N., SANTOS/SP

SETEMBRO / 2006

Figura 11- Quadro de Áreas Cobertas

Fonte: (Katchborian,2019).

OBTENÇÃO DOS DADOS PARA A ANÁLISE ESTRUTURAL

Para a realização da análise deste estudo foi necessário obter um detalhamento preciso de todas as informações. Por tratar-se de uma análise estrutural de um estádio de futebol, há diversos aspectos a serem considerados. Com isso, a interpretação precisa do projeto arquitetônico torna-se uma etapa inicial de muita importância.

Com o desenvolvimento aprofundado do estudo, pôde-se obter a o Projeto Arquitetônico do Estádio Urbano Caldeira, onde consta todos os pavimentos em que o estádio contém e seu dimensionamento. Esse projeto foi concebido em arquivo DWG no AutoCad.

Após obter o projeto para a inicialização da análise e modelagem no *Software* LISA, surgiram diversos apontamentos e dúvidas em relação aos dados ilustrados no projeto. Com isso, verificou-se a necessidade de realização de uma visita de campo no local de estudo. Logo, foi realizada a solicitação formal através de dirigentes responsáveis do Santos Futebol Clube.

Com a aprovação da solicitação, foi efetuada a visita de campo, onde pôde-se observar diversas informações onde não pode ser constatada apenas no projeto arquitetônico. Na visita de campo pode confirmar dados informados no projeto, além de observar presencialmente todas as arquibancadas, seções transversais, dimensões de pilares e todos os demais dados necessários para conclusão de toda a modelagem e análise no software.

Através da Visita de campo, pode-se obter maior número de informações e detalhamentos, que através do projeto em AutoCad não pode ser visualizado. Com isso,

pode-se identificar qual setor para a realização do estudo. Após escolher o setor de estudo, foram anotadas todas as dimensões necessárias para inserção no *software* LISA e ANSYS, realizando uma espécie de uma planta manuscrita para melhor compreensão.

Com a realização das medidas efetuadas, pode-se ter acesso aos andares abaixo da arquibancada de estudo, sendo possível a visualização de pilares, vigas, distanciamento entre pilares e demais fatores importantes. Essa visualização tornou a realização da visita de campo ainda mais exploradora, pois foi possível obter mais definições do que o esperado.

A visita ao Estádio Urbano Caldeira foi finalizada com a captura de todas as imagens necessárias para melhor visualização, resultando em um melhor entendimento sobre o estudo em questão, e com todas as informações a serem inseridas no *software*.

METODOLOGIA PARA ANÁLISE ESTRUTURAL

A análise foi realizada através de simulações utilizando uma ferramenta computacional muito utilizada por engenheiros. Atualmente tem-se diversos tipos de *software*s que são destinados para realização da análise deste estudo, dentre eles o ANSYS, software de elementos finitos utilizado para modelagem, análise e dimensionamento.

Entretanto a ferramenta computacional utilizada para esse estudo foi o *Software* LISA e ANSYS por atender a necessidade de análise do estudo assim como SAP2000, porém, promovendo um diferencial comparando resultados através do SAP2000 em trabalhos científicos já realizados por outros autores cuja a análise de estudo também é baseando-se em estádios de futebol.

A seguir são fornecidas informações para esse tipo de ferramenta computacional

Ferramenta computacional I para análise estrutural

A ferramenta computacional I inicialmente utilizada no presente trabalho foi o *software* LISA. Consiste em um programa de elementos finitos, tais elementos que foram descritos no decorrer desse trabalho. Ele é capaz de realizar um amplo conjunto de problemas que há na engenharia de estruturas.

Esse *software* é muito utilizado por Engenheiros, por sua flexibilidade em relação a estrutura a ser analisada, realização dos cálculos solicitantes e credibilidade nos resultados. Com ele pode-se modelar estruturas com dimensionamento de pontes, edifícios, estádios e quaisquer outros tipos de dimensionamento para que haja uma análise.

No que diz respeito a análise estrutural, permite a simulação fácil e imediata de muitos componentes estruturais, características de materiais e ações estáticas e dinâmicas.

Ferramenta computacional II para análise estrutural

A ferramenta computacional II utilizada neste estudo foi o *software* ANSYS. Trata-se de um *software* de análise estrutural com ferramentas de análise de elementos finitos, onde é possível realizar simulações analisando diversos cenários de projetos. As ferramentas disponíveis proporcionam maior realismo na previsão do comportamento e desempenho de projetos mais complexos.

O *software* ANSYS é utilizado para este estudo como meio comparativo entre os resultados obtidos no *software* LISA, avaliando a efetividade dos dois *software*s, garantindo melhor resultado comparado a realidade.

Modo de utilização da ferramenta computacional para obtenção dos dados

Com a ferramenta computacional desse estudo, é possível criar um modelo de elementos finitos com o uso das ferramentas disponíveis. Também é possível importar modelos já realizados no CAD e utilizar de acordo com a análise necessária.

Construção do modelo

Nessa etapa do estudo, realiza-se a criação de nós cujas posições são elaboradas de forma a representar o objeto, cujo tipo de representação em questão foi a elaboração da arquibancada cadeira cativa 15, portão 13/14, onde sua localidade é ilustrada Figura 9.

Nesse passo foi necessário a atribuição de propriedades do material para os elementos, estabelecer o tipo de aplicação de forças aos nós adequados.

Resolver o modelo

O *software* permite a realização de análises, porém, é de suma importância que a criação do modelo seja realizada da forma correta. Com a criação do modelo, é preciso definir o tipo de análise pretendida ao estudo.

No presente estudo o modo de análise em que é inserido ao *software* é em relação as vibrações que ocorrem na arquibancada em questão.

Exibição dos resultados

Nessa estapa envolve o passo final mediante toda criação e definição de análise em questão. Com isso, é obtida a exibição em 2D e em tabelas com valores numéricos. É necessária a validação dos resultados, para que os dados inseridos não se alterem sensivelmente.

Detalhamento da Utilização do *Software* LISA

De acordo com o detalhamento realizado para utilização do *Software* LISA, pode-se criar um fluxograma demonstrado na Figura 10, onde são estabelecidas todas as etapas do processo necessária para a criação total dos elementos para obtenção de resultados do estudo. Os quadrados pretos indicam as etapas executadas do processo, e o losango vinho indica a tomada de decisão da etapa do processo. As setas vermelhas conduzem a direção do fluxo que são iniciados e finalizados com círculos cinzas.

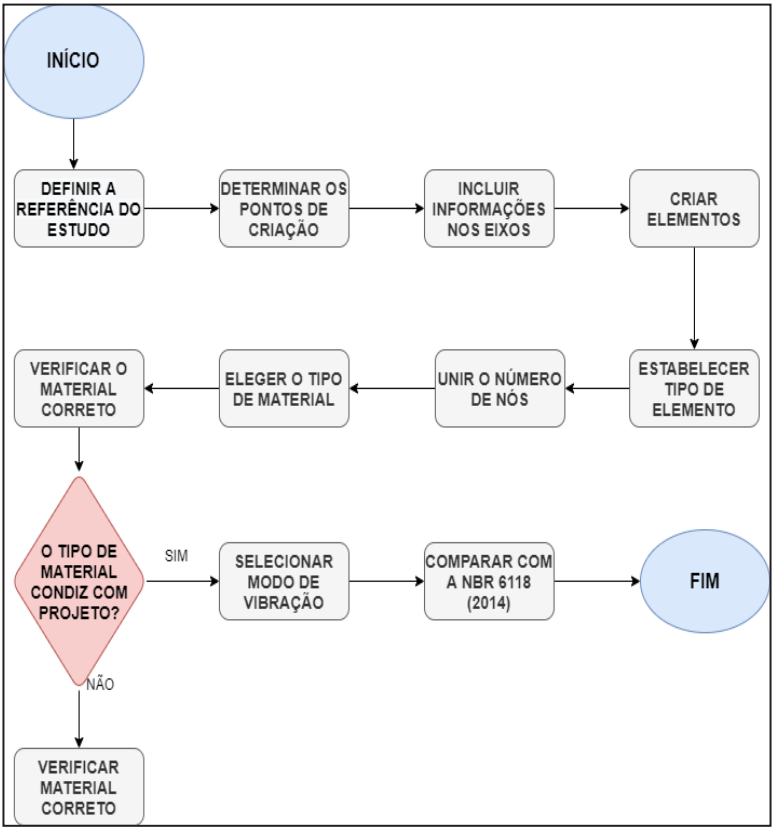


Figura 12- Fluxograma de Utilização do Software LISA

Diante do modo de utilização da ferramenta computacional LISA, estabelecidos no fluxograma da Figura 11 de forma geral, pode-se determinar o passo a passo mais detalhado da forma de uso do *Software*, com a finalidade de complementar todos os processos estabelecidos na Figura 11.

O procedimento para realização do manuseio do *software* segue os seguintes passos:

1. Realizar a referência com o corte transversal da arquibancada definida;
2. Definir os pontos de partida de acordo com as dimensões reais da arquibancada, tais pontos resultam na criação dos ponros de ligação da estrutura;
3. Inserir as informações dos nós em suas coordenadas necessárias, X, Y e ou Z;
4. Ao finalizar a marcação dos pontos (nós), é preciso criar o elemento.
5. Para a modelagem geométrica, foram utilizados elementos do tipo *shell.* Há 4 tipos de elementos do tipo *shell,* foram utilizados cada um de acordo com a necessidade do perfil da arquibancada.
6. Ao unir o número de nós, pode ser obtido o número de elementos. Ele varia em função da proporção da seção da arquibancada.

7. Ao finalizar todo o Passo 6, deve-se escolher o tipo de material e suas respectivas propriedades.
8. Eleger os modos de vibração para análise, resultando na obtenção das frequências.
9. Comparar todos os resultados obtidos com a NBR 6118 (2014)

Para a obtenção de dados necessários para a criação do modelo estrutural da arquibancada placar, pode-se extrair dados obtidos através da planta do Estádio Urbano Caldeira, cuja escala é de 1:100. Na Figura 13 é possível observar a geometria do estádio através da planta baixa do local de estudo, onde a arquibancada em que é realizada a análise e modelagem de elementos finitos fica localizada no lado direito destacado em retângulo preto da Figura 13.

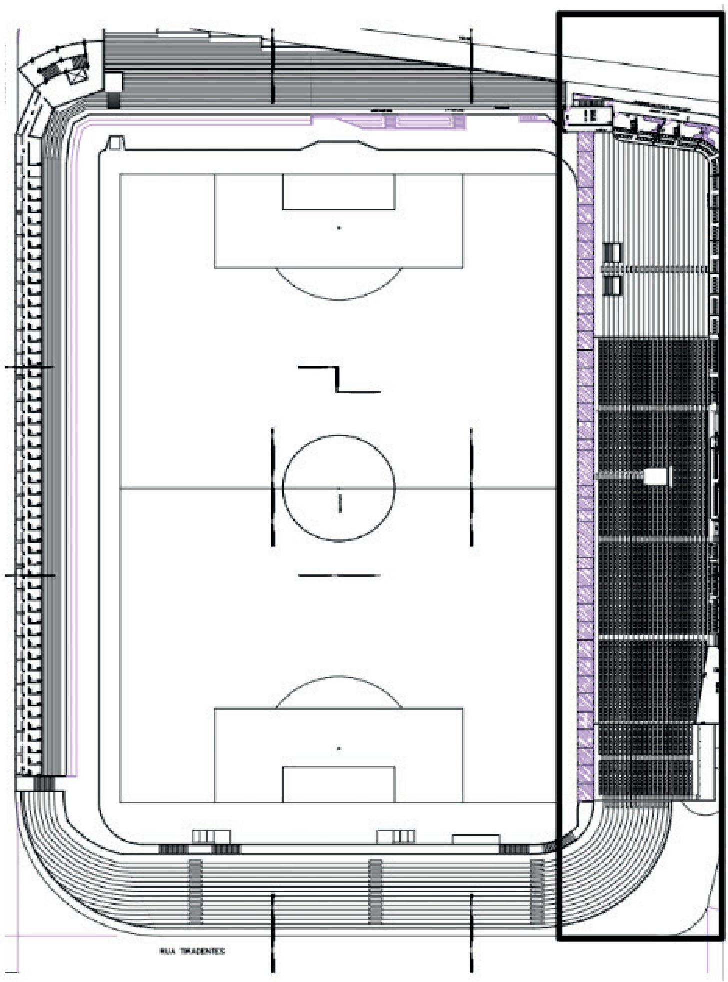


Figura 13- Planta Estádio Urbano Caldeira

Fonte: (Katchborian,2019).

Na Figura 14 é ilustrado a utilização do Software LISA, abrangendo manuseio inicial para realização dos estudos. No lado Esquerdo da Figura 13 há uma série de elementos que podem ser utilizados, mediante a necessidade da análise. Conforme indicado no decorrer desse estudo, os elementos utilizados para criação da modelagem das arquibancadas são elementos tipo *shell*, e o mais utilizado no desenvolvimento da modelagem é *quad8-shell*. Ou seja, para cada placa são necessários 8 pontos de ligação para modelagem.

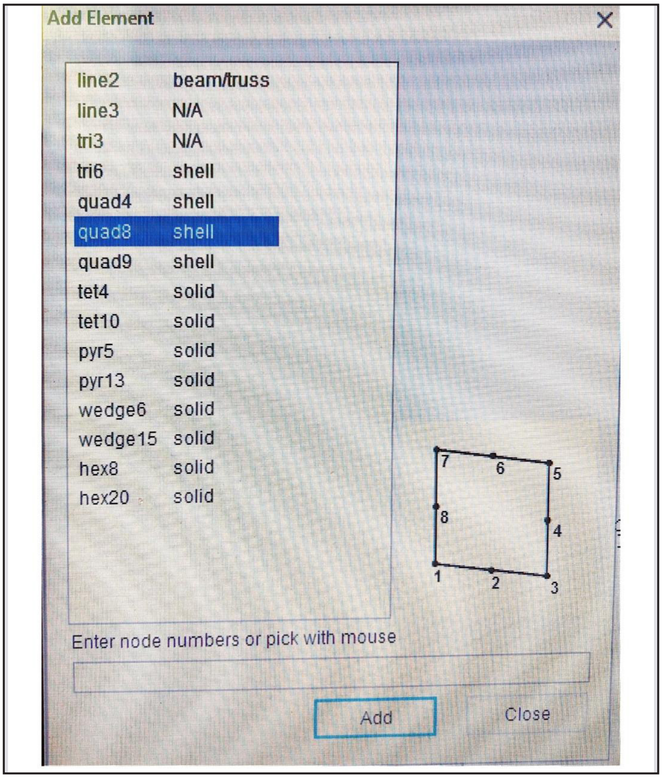


Figura 14- Manuseio inicial do Software LISA

Para continuidade do estudo, é necessário obter as dimensões das arquibancadas que são analisadas. Na Figura 16 pode-se observar o corte tranversal das arquibancadas, as medidas ilustradas estão em metro. Através dessas medidas, pode-se inicializar a modelagem no *Software* LISA de acordo com indicações ilustradas no fluxograma apresentado na Figura 12.

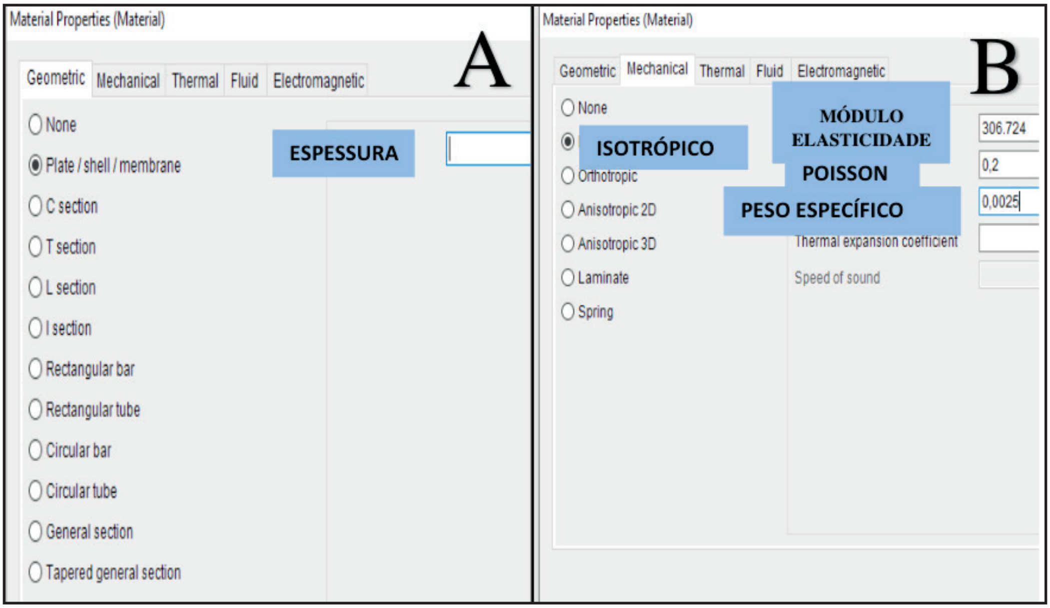


Figura 15- Propriedades do Material

Na Figura 15 é ilustrado duas etapas fundamentais para obtenção das análises. Na Figura 15-A é demonstrado a etapa de inicialização das propriedades do material. São cinco etapas, sendo elas: Geometria, Propriedade Mecânica, Propriedade Térmica, Fluido e Electromagnetismo. Para o estudo, é preciso apenas da especificação geométrica e mecânica.

Propriedades Mecânicas / Geometricas	SI (M, kg, s, A, K)
Espessura	Metro
Módulo de elasticidade	Pascal
Poisson	Adimensional
Peso Específico	Kg/m³

Tabela 6- Sistema Internacional de Unidades

Fonte: *Software* LISA

A Tabela 6 apresenta as unidades de medida utilizadas para que a modelagem realizada no *software* tenha êxito. É de suma importância que a conversão de medidas seja realizada de forma correta, pois isso poderá resultar em obtenção de valores incorretos.

Com isso, a geometria estabelecida é plate/shell/membrane onde logo ao lado é necessário indicar a espessura. Na Figura 15-B, trata-se de uma etapa importante onde requer muita atenção, pois é fundamental que os valores admitidos estejam todos na mesma unidade de medida. Logo, é possível avançar para etapa B com a identificação da

propriedade mecânica do concreto sendo isotrópico. Ao lado há o Módulo de elasticidade, onde é adotado um fck de 30 MPA, pode-se obter através da fórmula:

$$\sigma = 5600 * \sqrt{fck} \quad (1)$$

Através da resolução, considerando um fck de 30 MPA, obteve-se um módulo de elasticidade de 30672463220 Pa. Na sequência, o valor do poisson é v= 0,2. O peso específico de acordo com a unidade de medida estabelecida é γ = 2500kg/m^3.

Por se tratar de um estudo onde serão somente analisados características mecânicas, o próximo item de coeficiente de expansão térmica do concreto não se torna necessário a colocação. Na Figura 16 consta os dados necessários para a modelagem da seção de estudo no *Software* LISA. Esses dados obtidos atráves de um Projeto Arquitetônico pode ser comparado em uma inspeção visual realizada em Visita de campo.

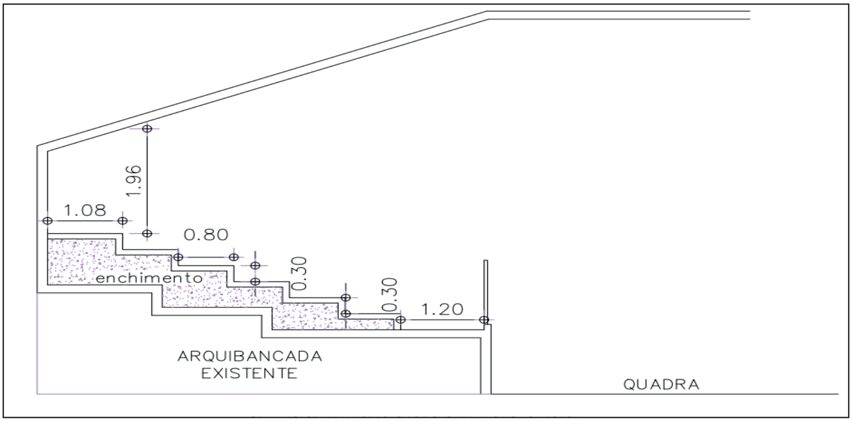


Figura 16- Dimensionamento da Arquibancada

Fonte: (Katchborian,2019).

OBTENÇÃO DE INFORMAÇÕES PARA SIMULAÇÃO

Para obtenção das informações que são necessárias para realizar a análise de simulação foram obtidos dados ao realizar-se uma visita de campo no Estádio Urbano Caldeira.Na Figura 17, pode ser observada a realização do levantamento de medidas constada no projeto obtido para confirmação se houve alguma modificação no decorrer dos anos. Com isso, foi realizado um comparativo de espessura, largura e delimitação de torcedores por área.



Figura 17- Coleta de dados

Na Figura 18, consta cenários obtidos por meio da Visita de Campo, onde ilustra o local de análise de estudo. São caracterizados com identificação A, B e C. Na Figura 17-A, é ilustrado o setor de estudo, o Estádio Urbano Caldeira é cercado por quatro ruas distintas em seu entorno, porém, o setor do presente estudo está situado em Rua Princesa Isabel.

Na Figura 18-B, pode-se identificar a visão real do local de estudo juntamente a disposição dos assentos dos torcedores. Esse setor é nomeado como Arquibancada Superior, conforme Tabela 5. Nesse setor, foi possível verificar de que a disposição dos assentos aos torcedores é nomeada, logo, cada torcedor já tem seu assento específico nessa arquibancada de estudo.

Na Figura 18-C, tornou-se necessário a comprovação dos dados obtidos em relação aos andares do Estádio. Houve a liberação de acesso a essa área, mesmo sendo restrita, onde foi possível realizar ums inspeção visual do conjunto de degrais da arquibancada. Nessa etapa, a visualização foi obtida no primeiro andar, ou seja, pode-se observar o seguimento em continuidade ao andar superior, onde seria a identificação B.

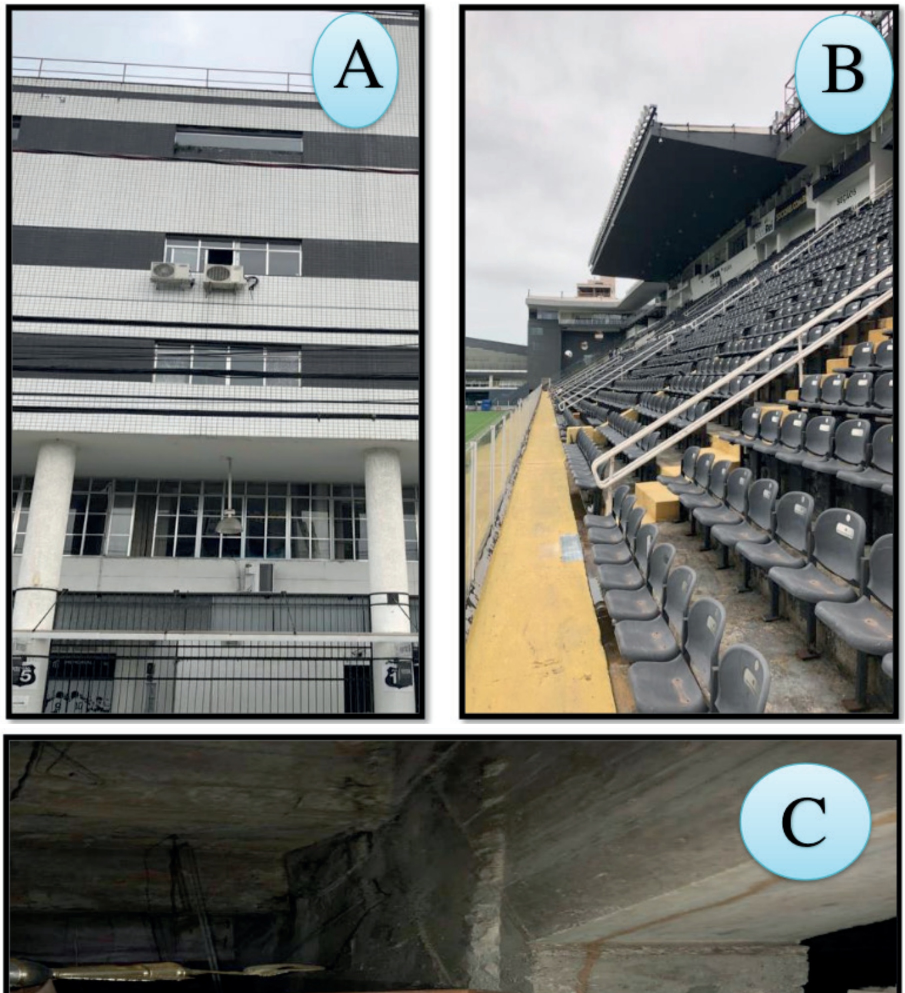


Figura 18- Dados para modelagem: em (A) seção frontal exterior, em (B) localização da arquibancada de estudo e em (C) pilar que compõe o inicio da arquibancada.

De acordo com a inspeção visual realizada na visita de campo, foi realizado simulações em relação ao público-alvo em cada setor da arquibancada. Inicialmente o estudo seria realizado na Arquibancada placar onde comporta um grande número de torcedores, porém, por esse setor não conter assentos composto por cadeiras, foi considerado que a proporção de presença dos torcedores seja em arquibancadas onde há melhor conforto ao usuário. Logo, a Arquibancada Superior, há maior conforto em relação aos assentos e melhor visualização durante o jogo. Com isso, é possível acompanhar cada etapa do jogo, levando a tocida a loucura, e tendo a visualização do placar do jogo na extremidade

direita do campo. A Arquibancada Superior comporta o maior número de torcedores, essa condição favorece o estudo estabelecido nesse trabalho.

Na Figura 19 é possível realizar o dimensionamento em relação a distância dos pilares de sustentação de toda estrutura. Logo, do pilar um ao pilar dois, obteve-se uma distância de 7,10 metros, e do pilar dois ao pilar três uma distância de 6,8 metros. Os três pilares ilustrados na Figura 17 compõe a área de estudo, a obtenção dessas dimensões é essencial para o desenvolvimento da modelagem no *software*.

Os pilares ilustrados na Figura 19, também é possível identificar na Figura 18-A. A análise presencial desses elementos da estrutura torna o desenvolvimento dos resultados obtidos com a modelagem do local de estudo mais próximo da realidade.

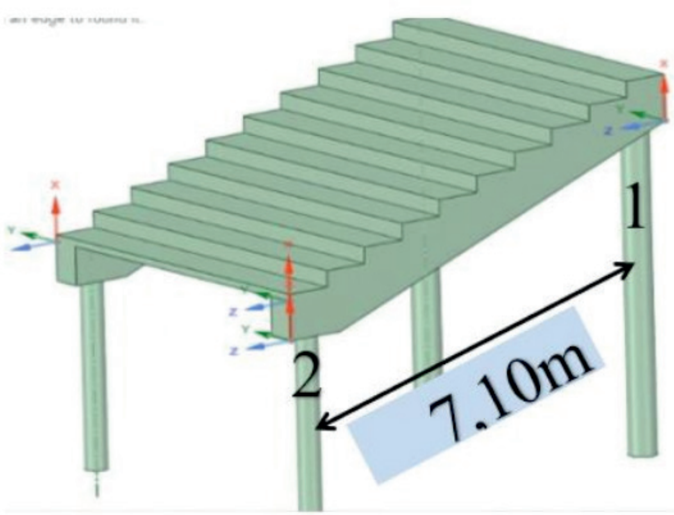


Figura 19- Modelagem da Arquibancada de estudo em Software



Figura 20- Vista Inferior local de estudo- Figura real

MODELAGEM EM ELEMENTOS FINITOS

Após a realização da visita de campo no Estádio Urbano Caldeira, pode-se dar início para a execução da modelagem no software LISA. A modelagem foi realizada obtendo-se seis modos de vibração. Toda a modelagem foi efetuada baseando-se no passo a passo de procedimento de utilização do software, descrito no presente trabalho. O trecho da modelagem estabelecido foi do pilar 1 ao pilar 2, conforme ilustrado a vista real na Figura 20.

Para modelagem numérica-computacional das arquibancadas de um dos setores do Estádio Urbano Caldeira, foram empregados dados obtidos através da leitura e interpretação da planta disponibilizada no programa AUTOCAD, além da realização da visita de campo.O programa LISA para estudantes, utilizado para realização deste estudo,pode ser utilizado em diversas classes de problemas de análise estrutural na Engenharia civil, pois possui uma dimensão de elementos finitos para os mais variados tipos de análise, entretanto, o programa delimita o número de pontos para criação no desenvolvimento da modelagem. Logo, é possível realizar até 1.300 pontos. Na análise da arquibancada em estudo, o número de pontos chegou a 1.211. A arquibancada em estudo corresponde a seção ilustrada Figura 20.

A representação composta por pórticos, lajes e degraus, foram utilizados elementos finitos de casca SHELL quad8. Enquanto para vigas foi utilizado o elemento BEAM line2. O elemento finito SHELL quad8 é um elemento de casca, definido por oito nós. Já o elemento BEAM line2 é um elemento bidimensional, composto por dois nós.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a modelagem computacional adotada, tem-se as seguintes possibilidades: os quatro apoios da arquibancada foram travados, pois a análise é a resposta dinâmica oriundas de excitações nas arquibancadas.

Mediante a um meio comparativo para esse estudo, foi utilizado o *software* ANSYS, para realizar uma conferência dos resultados obtidos através do *software* LISA. Foi realizada a mesma metodologia realizada no *software* LISA. Entretanto, a modelagem realizada no *software* ANSYS foi através de elementos sólidos, buscando melhor precisão dos resultados.

FREQUÊNCIAS E MODOS DE VIBRAÇÃO

Através da compreensão de frequências naturais e os modos de vibração, pode-se verificar o comportamento da estrutura ao carregamento dinâmico atuante, essa análise é chamada de análise modal. Esse tipo de análise retrata o comportamento dinâmico básico da estrutura indicando como esse conjunto de componentes responderá ao carregamento atuante. Esse tipo de caso é pode ser solucionado numericamente mediante o emprego de programas computacionais como LISA.

Por meio da análise modal para a obtenção de frequências naturais e modos de vibração do sistema, verifica-se o comportamento dinâmico da estrutura. Na Tabela 6 apresenta aos valores das seis primeiras frequências naturais e as Figuras 19 a 24 apresenta modos de vibração.

Resposta Dinâmica *Software* LISA

Através da modelagem realizada no *Software* LISA, obteve-se seis modos de vibração. Por meio dos modos de vibração é possível resultar em valores de frequências em Hz juntamente ao deslocamento da estrutura em metros, conforme Tabela 7. O *Software* LISA é capaz de obter diversos modos de vibração possíveis para a estrutura em estudo. No decorrer da modelagem no *software*, foi estabelecido altos modos de vibração ao *software*, porém, constatou-se de que a variação do número de frequências e deslocamentos não teve diferença significante. Logo, foi estabelecido os seis primeiros modos de vibração obtidos através do *Software* para estudo e análise.

Frequencias F0i (Hz)	Frequências Da Estrutura Analisada	Deslocamento (m)
f01	2,12	0,0044
f02	3,55	0,0055
f03	4,38	0,0067
f04	13,82	0,0090
f05	18,85	0,0072
f06	22,26	0,014

Tabela 7- Frequências Naturais do modelo estrutural de análise

Através da modelagem, é possível analisar de que esse elemento possui seis graus de liberdade por cada nó realizado, associados nas direções X, Y e Z. Dessa maneira, é possível identificar qual direção será de cada deslocamento obtido.

Atendendo a condição de frequência crítica para vibrações verticais para estruturas submetidas a vibrações pela ação de pessoas, conforme Tabela 1, pode-se identificar a frequência crítica equivalente para estádios de futebol. De acordo com a NBR 6118 (2014), o valor destinado a ginásio de esportes e academias de ginástica é de 8,0 Hz. A condição abaixo deve ser satisfeita:

$$F = (f > 1{,}2\ \text{Fcrit}) \qquad (2)$$

Quando a modelagem no *software* é realizada, é possível obter informações como frequência natural da estrutura e deslocamentos oriundos de cargas dinâmicas na estrutura. Na Figura 21 é apresentado os níveis de deslocamentos de forma decrescente partindo da cor vermelha até a cor azul escura, ou seja, a coloração vermelha indica valor de maior deslocamento em metros que ocorre na estrutura. Já a cor azul escura indica de que não há deslocamentos na estrutura, a predominância maior dessa cor pode ser verificada nas partes inferiores dos pilares, em decorrência dos pilares conter a condição de travamento em X, Y e Z, com isso, não sofre deslocamentos.

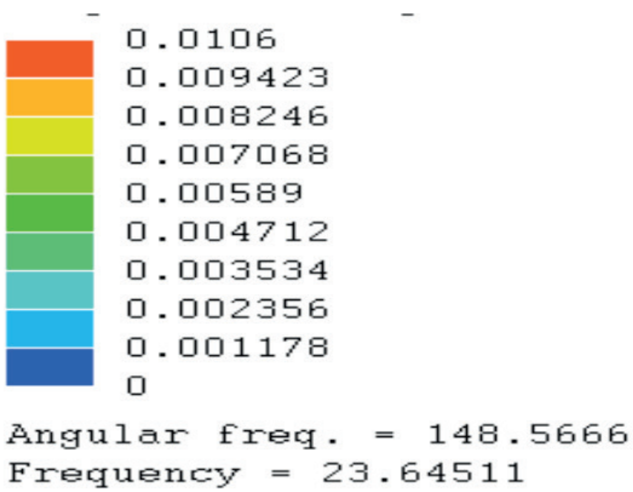


Figura 21- Indicações dos deslocamentos

Fonte: *Software* LISA

No modo de vibração 1, é obtido uma frequência natutal da estrutura de 2,12Hz e deslocamento de 0,0044m. Esse deslocamento predominante é apresentado Figura 22, onde está destacado em vermelho. O sentido da excitação da estrutura ocorre no eixo Z. Atendendo a fórmula da frequência natural, tem-se: 2,12 Hz > 9,6 Hz, ou seja, no modo de vibração 1, a frequência natural da estrutura não é maior que a frequência crítica, e

com isso, fenômenos como ressonância podem ocorrer na estrutura, pois deve haver um afastamento entre as frequências, e a frequência natural deve ser maior do que a frequência crítica.

No modo de vibração 2, a frequencia natural da estrutura é de 3,55Hz e deslocamento de 0,0055m. O sentido da excitação da estrutura ocorre no eixo X. O maior deslocamento ocorre na parte inferior da arquibancada em vermelho. Atendendo a fórmula da frequência natural, pode-se obter: 3,55 Hz > 9,6 Hz. Com isso, é possível identificar que mesmo no modo de vibração 2, a condição de frequência natural e crítica, não está sendo satisfeita.

No modo de vibração 3, a frequencia natural da estrutura é de 4,38Hz e deslocamento de 0,0067m. O sentido da excitação da estrutura ocorre no eixo X. O maior deslocamento ocorre no decorrer da arquibancada em vermelho. Atendendo a fórmula da frequência natural, identifica-se 4,38 Hz > 9,6 Hz. É possível observar que com o avanço dos modos de vibração, a frequência natural aumenta gradativamente, porém, no modo de vibração 3, a condição de frequência natural e crítica ainda não está sendo satisfeita.

No modo de vibração 4, a frequencia natural da estrutura é de 13,82 Hz e deslocamento de 0,0090m. O sentido da excitação da estrutura ocorre no eixo Y. O maior deslocamento ocorre no centro da arquibancada em vermelho. Atendendo a fórmula da frequência natural, tem-se 13,82 Hz > 9,6 Hz. Logo, no modo de vibração 4 a condição é satisfeita, pois a frequência natural é maior do que a frequência crítica.

No modo de vibração 5, a frequencia natural da estrutura é de 18,85Hz e deslocamento de 0,0072m. O sentido da excitação da estrutura ocorre no eixo X e Y simultaneamente. O maior deslocamento ocorre nas extremidades laterais da arquibancada em vermelho. Atendendo a fórmula da frequência natural, pode-se identificar 18,85 Hz > 9,6 Hz. Para modo de vibração 5 a condição é satisfeita e com maior afastamento entre frequência natural e crítica.

No modo de vibração 6, a frequencia natural da estrutura é de 22,26Hz e deslocamento de 0,014m. O sentido da excitação da estrutura ocorre no eixo X e Y simultaneamente. O maior deslocamento ocorre nas extremidades da arquibancada em vermelho. O pilar 2 sofre maior deslocamento. Atendendo a fórmula da frequência natural, é possível observar 22,26 Hz > 9,6 Hz. Para modo de vibração 6 a condição é satisfeita, sendo a frequência natural da estrutura maior que o dobro da frequência crítica. Com isso, dentre todos os modos de vibração, o modo de vibração 6 é aquele que melhor atende em relação a indícios de abalos para a estrutura.

Através de todos os modos de vibrações obtidos por meio da modelagem *software* LISA apresentados Figura 22, é possível observar os níveis de cores em relação aos deslocamentos atuantes na estrutura na Figura 23.

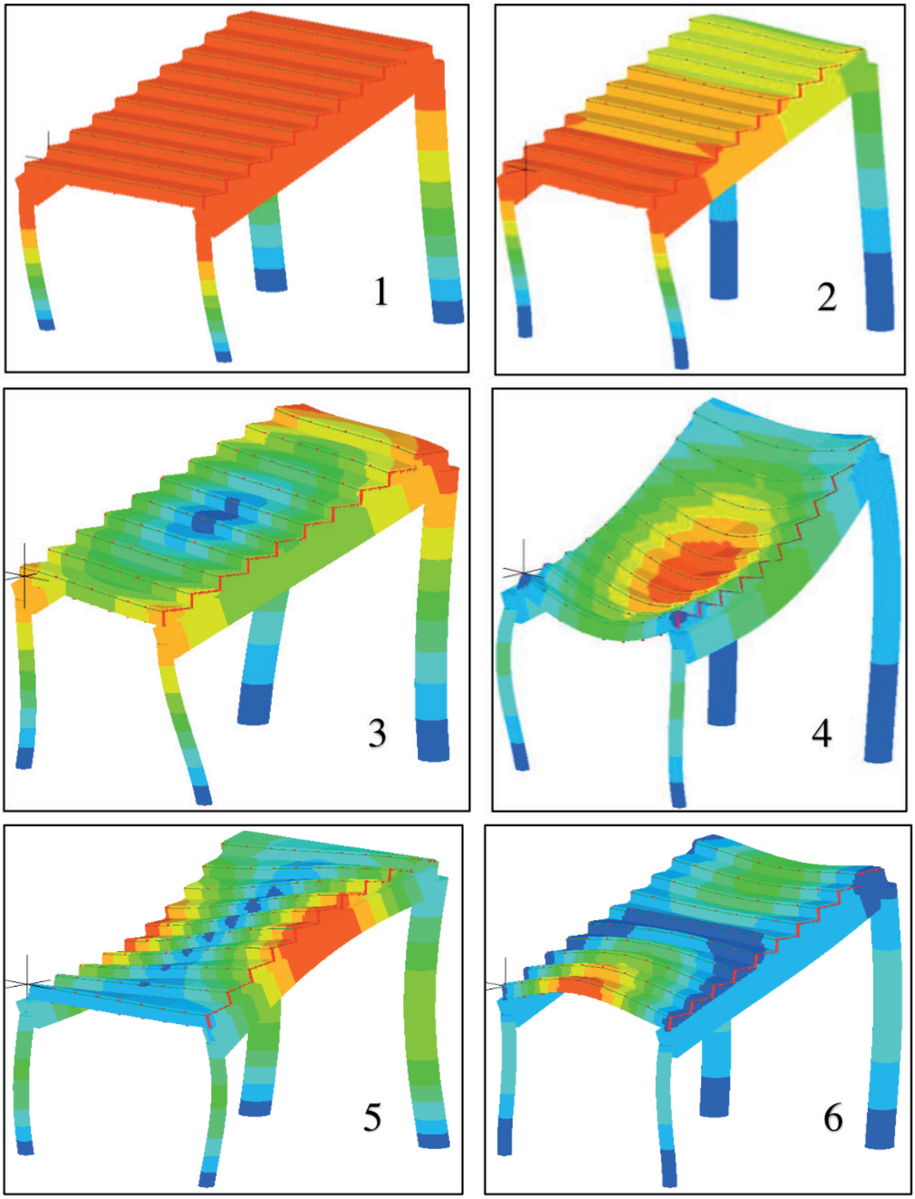


Figura 22- Modos de vibração (1), (2), (3), (4), (5) e (6)

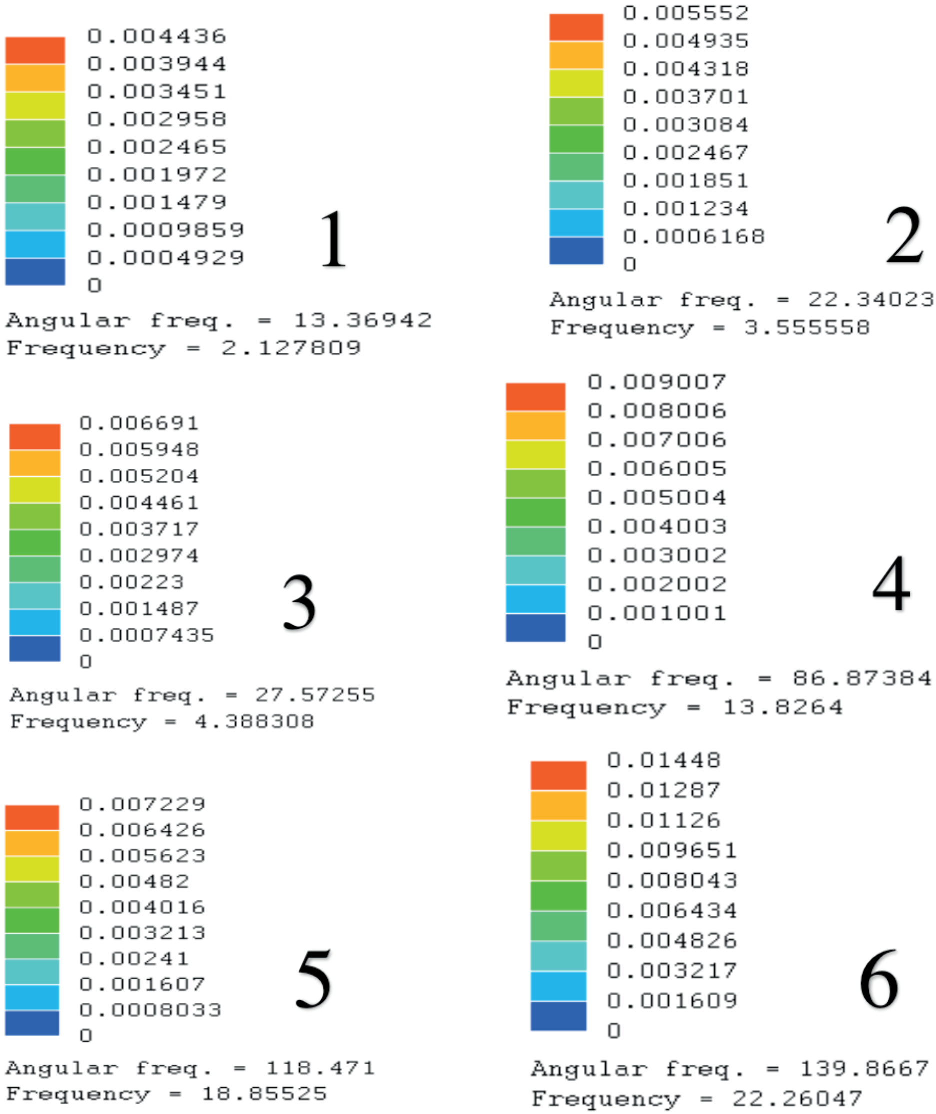


Figura 23- Deslocamentos (1), (2), (3), (4

Resposta dinâmica *Software* ANSYS

Para melhor levantamento das excitações atuantes na estrutura em estudo, foi utilizado *software* ANSYS, onde é possível obter frequências da esturura em Hz junto ao deslocamento, conforme Tabela 6. Assim como o *software* LISA, foi estabelecido o mesmo número de modos de vibrações, totalizando seis modos de vibração.

Frequencias F0i (Hz)	Frequências Da Estrutura Analisada	Deslocamento (m)
f01	2,68	0,0059
f02	3,09	0,0045
f03	4,33	0,0079
f04	16,12	0,0082
f05	22,54	0,0124
f06	23,53	0,0077

Tabela 8- Frequências Naturais do modelo estrutural de análise- *Software* ANSYS

Atendendo a condição de frequência crítica para vibrações verticais para estruturas submetidas a vibrações pela ação de pessoas, conforme Tabela 1, pode-se identificar a frequência crítica equivalente para estádios de futebol. De acordo com a NBR 6118 (2014), o valor destinado a ginásio de esportes e academias de ginástica é de 8,0 Hz. A condição abaixo deve ser satisfeita:

$$F = (f > 1{,}2\ Fcrit)$$

A realização do estudo no *Software* ANSYS teve como finalidade a precisão em relação aos resultados de frequências naturais e deslocamentos obtidos no *software* LISA. Com isso, obdecendo a condição de frequência natural e crítica é possível identificar que as frequências naturais 1, 2 e 3 não atende a condição de f > 9,6 Hz , pois são frequências inferiores a 9,6 Hz. Já as frequências naturais 4, 5 e 6 são superiores a frequência crítica de 9,6 Hz e com isso atende a condição de frequências.

Os deslocamentos ocorridos na estrutura são ilustrados na Figura 24, onde o maior deslocamento ocorre nas áreas em vermelho destacado na seção da arquibancada. A predominância maior nos degraus da arquibancada de estudo ocorre no modo de vibração 2.

Embora as frequências 4, 5 e 6 do *software* ANSYS atenda a condição de frequências, os números não estão tão acima da frequência crítica, e com isso, ainda assim, corre o risco de atuação do fenômeno de ressônancia na estrutura. Assim como no *software* LISA, foi realizado uma modificação na modelagem no *software* ANSYS também. Houve travamento nos eixos X e Y, que equivalem a continuação do trecho da arquibancada em estudo, sendo as laterais em X e as seções inferiores e superiores em Y. Esse travamento foi analisado en razão da seção de estudo ser apenas um trecho da arquibancada, em decorrência da limitação do número de pontos que o *software* permite.

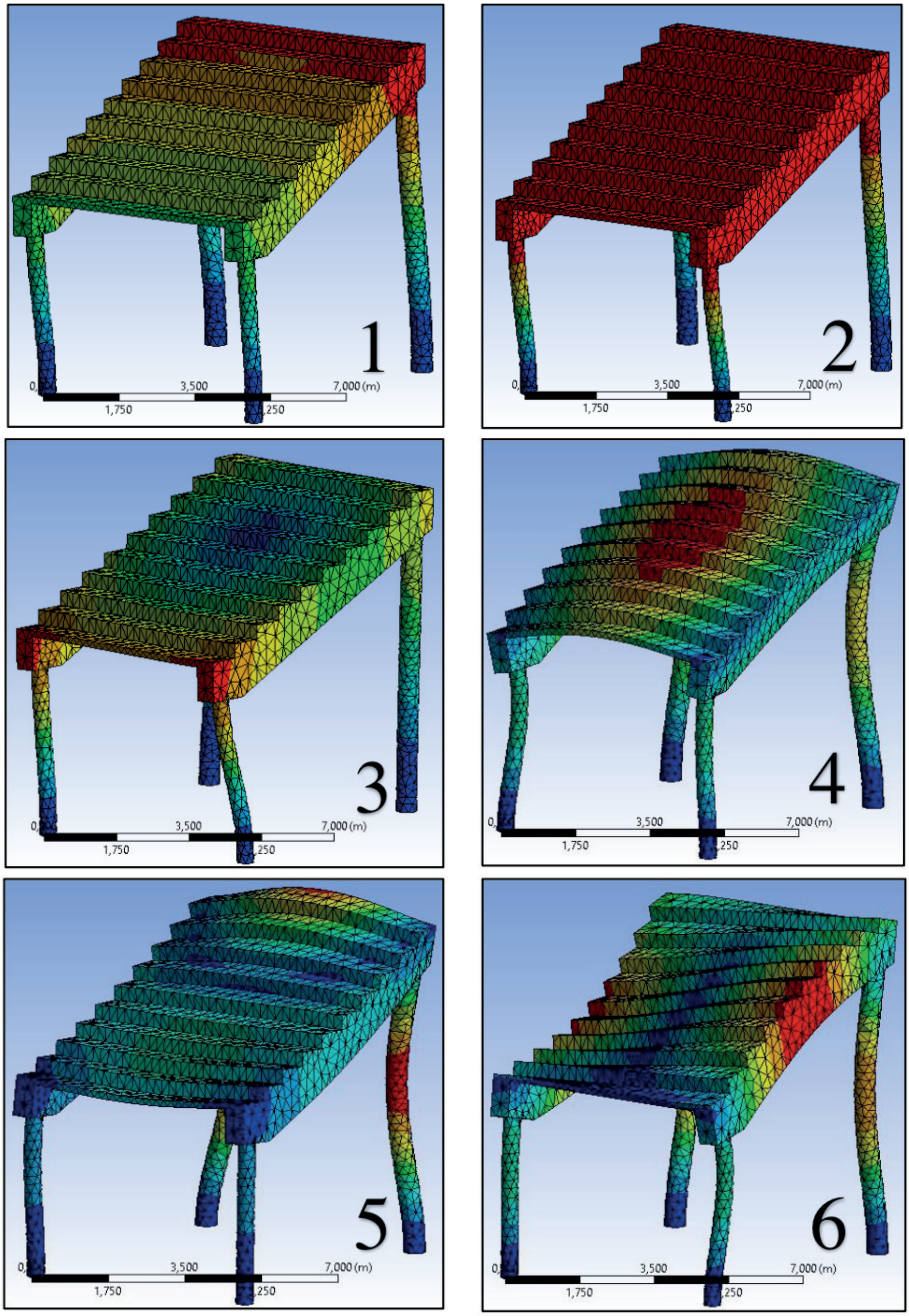


Figura 24- Modos de vibração (1), (2), (3), (4), (5) e (6)

Conformidade dos resultados obtidos entre os *Software*s utilizados

Após realizar as simulações nos *software*s LISA e ANSYS, foi obtido as frequências

em Hz e deslocamentos. A Figura 25 apresenta uma comparação da resposta dinâmica obtida nos seis diferentes modos de vibração entre dois *software*s utilizados para a realização deste trabalho.

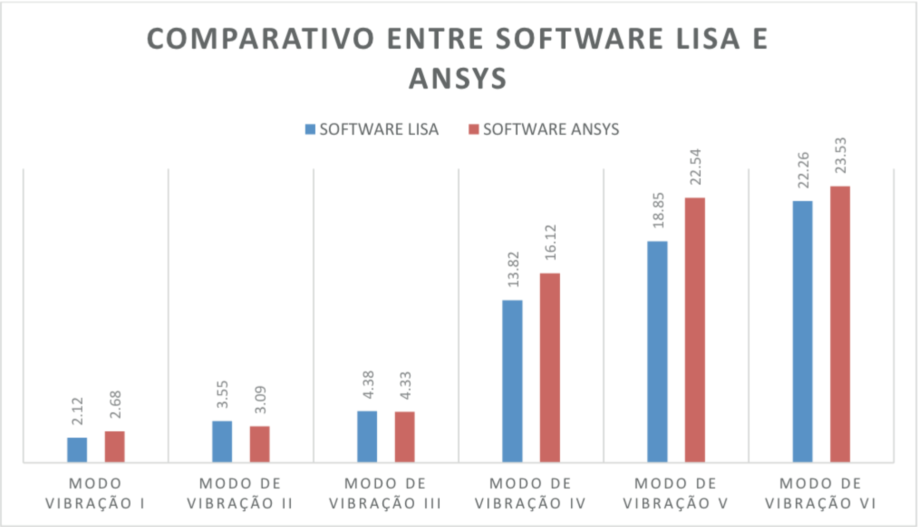


Figura 25- *Software* LISA x *Software* ANSYS

Através do gráfico Figura 25, é possível identificar que no modo de vibração 1, o *Software* ANSYS resulta no valor de 2,68 Hz, ou seja, 25% a mais que o modo de vibração 1 no Softare LISA. Já no modo de vibração 2, o *Software* LISA obtém uma frequência com 15% a mais que *Software* ANSYS. Em relação o modo de vibração 3, não há diferença em relação as frequências obtidas entre os dois *software*s. No modo de vibração 4, há uma diferença de frequencia, *Software* ANSYS obtém frequencia maior em 16,5%. Já no modo de vibração 5, *Software* ANSYS tem diferença de frequência maior de 19%. No modo de vibração 6, sendo o último desse estudo, a diferença entre os *softwares* cai para apenas 5%.

Sabe-se que a frequencia natural do sistema depende da rigidez e massa gerais, logo, é possível alterar a rigidez do sistema por meio da modificação do material, geometria e/ou condições de limites.

Análise conceitual dos resultados obtidos

No decorrer do estudo, pode-se observar de que os modos de vibração obtidos, resultaram em frequências naturais da estrutura muito baixa, comparado a frequência crítica da estrutura. Esse fato levou em maior levantamento de soluções e análises para haja o maior afastamento entre as frequências, tornando o estudo mais efetivo.

Dessa forma, constatou-se que o motivo pelo qual a frequência natural da estrutura estava abaixo da frequência crítica, sendo devido ao fato de que a modelagem realizada nesse estudo é baseada em apenas um trecho da arquibancada de estudo, e a modelagem realizada conforme Figura 22, foi realizada de forma isolada. O motivo pelo qual a

modelagem foi baseada em apenas um trecho é em relação a limitação do número de pontos que o *software* permite.

Através desse conceito e análise, pôde-se observar a necessidade de informação ao *software* em relação ao travamento da estrutura nos eixos X e Y. Pois o eixo X equivale a continuação das arquibancadas laterais ao trecho de análise, já o eixo Y equivale a continuação do trecho da arquibancada de estudo, sendo a continuação superior e inferior.

Conforme Tabela 8, foi possível observar a diferença em grande escala das frequências naturais obtidas, comparando-se com Tabela 7. Outro fator em que pode ser observado com a obtenção desses resultados foi de que os primeiros modos de vibração obtidos são inferiores aos modos de vibração seguintes, ou seja, o *software* constata a possibilidade de atuação de uma frequência inferior, porém, ainda assim, essa frequência natural é maior que a frequência crítica.

Com a realização dessas alterações para a estrutura em estudo, pôde-se alcançar frequências naturais superiores, obtendo resultados efetivos, conforme Tabela 8.

Frequencias F0i (Hz)	Frequências Da Estrutura Analisada	Deslocamento (m)
f01	23,64	0,010
f02	30,56	0,014
f03	30,56	0,014
f04	35,77	0,0084
f05	38,04	0,014
f06	44,34	0,016

Tabela 9- Frequência natural obtida através de alterações da modelagem- *Software* LISA

Conforme a condição em que f > 1,2 fcrit, a frequência crítica da estrutura continua sendo 9,6 Hz, e conforme Tabela 8, todas as frequências naturais da estrutura são superiores a frequência crítica, com isso, atendendo a condição das frequências.

De acordo com STOVOLAS (2010), em momentos de comemorações no decorrer de disputa de times no estádio de futebol, há a presença de dois casos. Quando o torcedor está sentado sob a estrutura a frequência natural média corresponde a uma taxa de amortecimento de 40% e quando o torcedor está de pé, a frequência natural média corresponde a uma taxa de 25% de amortecimento.

Através de conceito, verifica-se a importância de afastamento entre as frequências naturais e críticas pois, a atuação humana em comemorações nos estádios de futebol é diversificada em função do rítimo do jogo, ou seja, haverá momentos em que o torcedor estará sentado, em pé, pulando, provocando excitações para a estrutura.

Em relação ao modo de vibração 1, conforme Tabela 8, por exemplo, tem-se uma frequência natural de 23,64 Hz. Considerando que essa taxa corresponda ao momento que os torcedores estejam sentados sob a estrutura em estudo, quando esses torcedores estiverem em pé sobre a estrutura a frequência natural da estrutura reduzirá para 10,63 Hz. Essa frequencia natural será maior que a frequência crítica de 9,6 Hz, porém com valores muito próximos. Em decorrência disso, quanto maior a frequência natural em relação a

frequência crítica, maior será a resistência da estrutura perante excitações na estrutura oriundas de atividades humanas.

Assim como realizado as alterações no *software* LISA, foi realizado as mesmas definições no *software* ANSYS também, onde pode ser obsevado os resultados na Tabela 9.

Frequencias F0i (Hz)	Frequências Da Estrutura Analisada	Deslocamento (m)
f01	27,18	0,009
f02	31,13	0,021
f03	31,29	0,027
f04	31,35	0,027
f05	31,63	0,021
f06	38,62	0,007

Tabela 10- Frequência natural obtida através de alterações da modelagem- *Software* ANSYS

Através da Figura 26, é possível observar o aumento significante da frequência natural da estrutura em todos os modos de vibração em relação Figura 23. Os modos I, II e III o *software* ANSYS resulta em maior obtenção de frequência natural, já os modos IV, V e VI há maior frequência natural obtida através do *software* LISA.

A obtenção de maiores valores de frequências naturais por meio do *software* LISA é em decorrência da forma da modelagem realizada no programa. Segundo ALTABEY, NOORI, WANG (2018) afirmam que a realização de elementos sólidos são mais gerais e podem ser utilizados em qualquer tipo de estrutura moldada. Quanto mais rebuscado seja o elemento, mais preciso é o resultado final.

A escolha do tipo de elemento utilizado dependerá do tipo de geometria do modelo estrutural. Há casos em que podem exigir um número tão grande de elementos sólidos que o solucionador fica sem memória ou leva muito tempo. No comparativo entre os dois *softwares* utilizados para a análise, sendo o ANSYS com modelagem sólida e o LISA com elementos de viga e casca, o modo de vibração 4 obtido no *software* LISA com frequência natural de 35,77 Hz coincide com o mesmo comportamento estrutural do modo de vibração 6 do *software* ANSYS com frequência natural de 38,62 Hz.

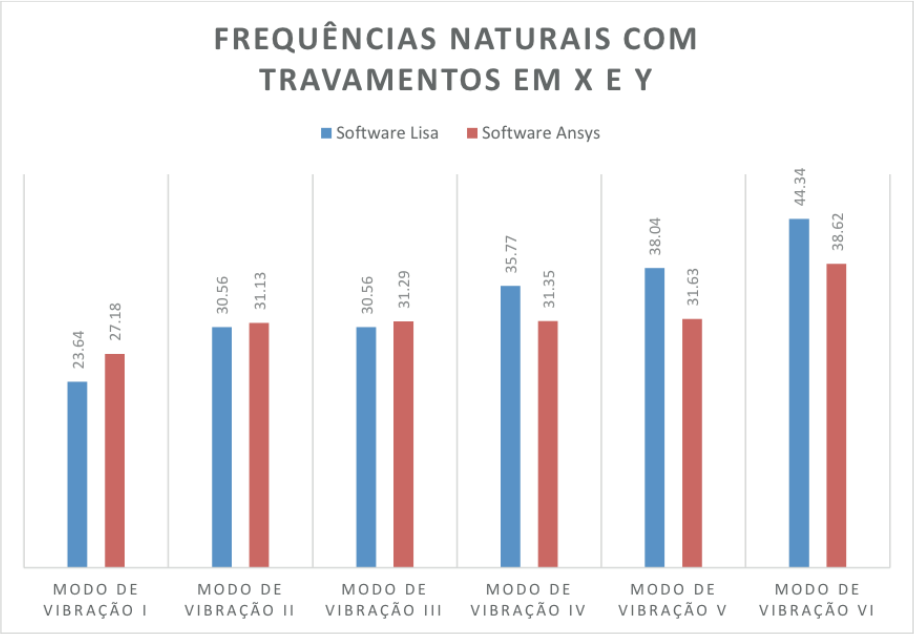


Figura 26- *Software* LISA x *Software* ANSYS com travamento X e Y.

Com o alcance desses resultados, constata-se a credibilidade na utilização de ambos *software*s utilizados nesse trabalho para estudo e análise. No *software* LISA foram utilizados elementos do tipo *shell,* que são elementos de placa e casca, que é indicado para modelar elementos de superfície como a arquibancada de estudo. Já no *software* ANSYS foram utilizados elementos de volume, pois quanto mais rebuscado for o elemento mais precisa será a resposta.

Para melhor visualização mediante a análise conceitual e modelagem realizada no *software* LISA e ANSYS, foi possível realizar um comparativo entre os *softwares*. A Figura 27 apresenta o modo de vibração 1 após a análise conceitual necessária para obtenção de frequências naturais superiores as frequências críticas. Foi possível observar que o deslocamento ocorre no decorrer da arquibancada com acendencia na região central da arquibancada destacado em vermelho.

O modo de vibração 1 possui frequência natural de 27,18 Hz no *software* ANSYS e 23,64 Hz no *software* LISA. A frequência natural obtida em ambos os *softwares* é superior a 9,6 Hz de frequência crítica, porém, ainda é próximo do valor.

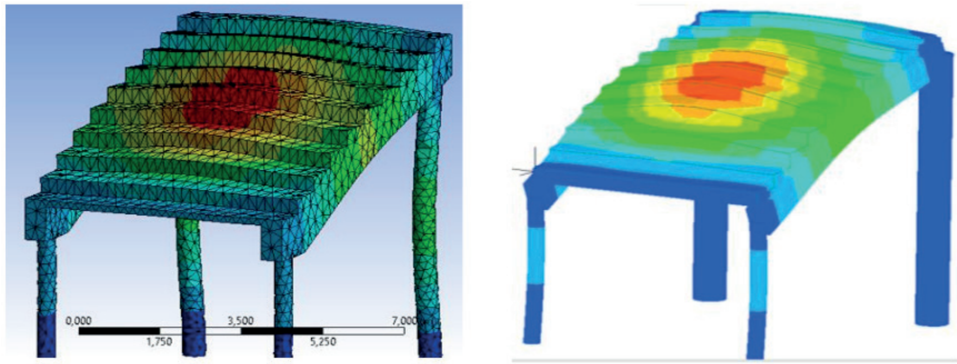


Figura 27- Modos de vibração ANSYS e LISA

Na Figura 28 é ilustrado o modo de vibração 3 ocorrido após análise conceitual da estrutura, onde foi obtido frequência natural de 31,29 Hz no software ANSYS e 30,56 Hz no *software* LISA. Esses valores de frequência natural obtidos correspondem a mais que o triplo do valor da frequência crítica da estrutura de 9,6 Hz. Logo, através da Figura 28 foi possível identificar de que o aumento da frequência natural pode reduzir deslocamentos severos para estrutura. Na Figura 28 há apenas presença de deslocamentos nos pilares e ainda assim, inferiores quando comparados ao modo de vibração 1.

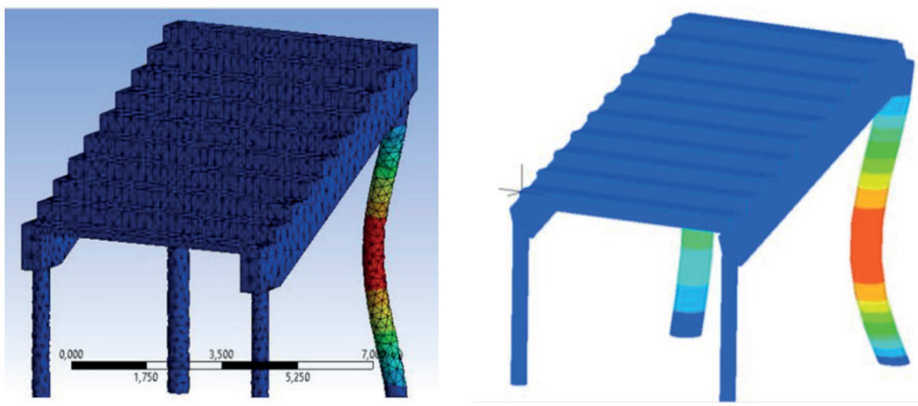


Figura 28- Modos de vibração ANSYS e LISA

CONCLUSÃO

A análise comportamental dinâmica das estruturas é um dos passos de suma importância no desenvolvimento de um projeto, assim como a consideração de limites, concepção e características. As cargas dinâmicas podem levar a índices de percepção humana quando há elevação nas excitações atuantes na estrutura.

Neste trabalho de conclusão de curso foi avaliado o comportamento estrutural da arquibancada do Estádio Urbano Caldeira de Santos, quando submetido a ações dinâmicas humanas (torcida). A análise dinâmica foi desenvolvida por meio da realização de uma modelagem através de dois *software*s de elementos finitos. Com isso, foi analisado a seção transversal da arquibancada, obtendo assim valores de frequências naturais e observando os diferentes modos de vibração.

Através dos resultados de frequências naturais da arquibancada em estudo, pode-se observar a influência da frequência natural para a estrutura, pois, quanto maior a frequência natural em relação a frequência crítica, menor será o índice de desconforto humano, e menor será a probabilidade de existência do fenômeno ressonância, tal fenômeno que poderá ocorrer se houver uma aproximação da frequência natural da frequência crítica.

A partir dos resultados encontrados no decorrer deste estudo, é reforçada a relevância do desenvolvimento de investigações mais detalhadas em grande escala, abrangendo a modelagem de arquibancadas em maior escala, quando há a permissãode realização do maior número de pontos. O estudo da dinâmica estrutural é um assunto abrangente, resultando em uma pesquisa contínua de questões voltadas para esse estudo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A.; PAIVA, L.F. Laudo Técnico de Vistoria de Engenharia em Estádio de Futebol. p 1-101, 2009. Disponível em :<http://laudosestadios.fpf.org.br/Laudo%20Engenharia%20I-Santos-Est.Urbano%20Caldeira-29-03-14.pdf> Acesso em: 30 de agosto de 2020.

ALTABEY, Wael A.; NOORI, Mohammad; WANG, Libin. Using ANSYS for Finite Element Analysis, Volume I: A Tutorial for Engineers. Momentum Press, 2018. Acesso em: 24 de outubro de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 6118:2014– PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO, 2014. Acesso em: 14 de agosto de 2020.

BENTES, F.M. Comparação de valores de frequência natural obtidos em diferentes sistemas. v.2, 2019. Acesso em 15 de setembro de 2020.

BONI, Paulo. Vibrações Livres De Sistemas De Um Grau De Liberdade, unidade 2. Disponível em: <http://www.joinville.ifsc.edu.br/~pauloboni/MECANISMOS/DINÂMICA%20DE%20MÁQUINAS/Vibrações%20Apostila.pdf> Acesso em: 17 de abril de 2020.

BRANDÃO, Maurício Pazini; Fundamentos Da Dinamica De Estruturas,1996. Acesso em: 03 de outubro de 2020

CAMPISTA, D.F, SILVA, J.G.S. Avaliação Da Resposta Estrutural Dinâmica Das Arquibancadas Do Estádio Nacional De Brasília Com Base No Emprego De Modelos Biodinâmicos file:///C:/Users/ferna/Downloads/20739-Texto%20do%20artigo-36178-1-10-20181218.PDF. Acesso em 25 de maio de 2020.

GONDIM, F.L; Resposta Dinâmica de corpos extensps submetidos à pequenas vibrações. Uberlandia, 2003. Disponível em : http://www.infis.ufu.br/infis_sys/pdf/FELIPE%20LAND%20GONDIM.pdf >. Acesso em 20 de setembro de 2020.

JULIANI, Marco et al. Avaliação Dinâmica Das Arquibancadas Do Estádio Olímpico João Havelange Utilizando Simulação Numérica E Monitoração**.** São carlos, 2005. Disponível em: < http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/158.pdf> Acesso em: 20 de julho de 2020.

Laudo Técnico de vistoria de Engenharia em estádios de futebol, 2014. Disponível em: http://laudosestadios.fpf.org.br/Laudo%20Engenharia%20I-Santos-Est.Urbano%20Caldeira-29-03-14.pdf. Acesso em 19 de setembro 2020

LIMA, G. V. F (2013) Análise Dinâmica via Método dos Elementos Finitos do Estádio Nacional de Brasília. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-09A/13, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 165p. Disponível em <http://www.pecc.unb.br/wp-content/uploads/dissertacoes/M13-9A-Gustavo-Lima.pdf>. Acesso em 27 de março de 2020.

MANUAL DE RECOMENDAÇÕES PARA A SEGURANÇA E CONFORTO NOS ESTÁDIOS DE FUTEBOL, Fundação Getúlio Vargas, 2010. Disponível em :<https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/esporte/manual_de_recomendacoes_para_a_seguranca_e_conforto_nos_estadios_de_futebol.pdf>. Acesso em 22 de agosto de 2020.

MEIRELES, José. Análise Dinâmica De Estruturas Por Modelos De Elementos Finitos Identificados Experimentalmente. 2007. Disponível em :< https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/8059/1/PHD-Meireles%20Revision%208e.pdf> Acesso em: 06 de agosto de 2020.

NÓBREGA; P.G.B. Tese De Análise Dinâmica De Estruturas De Concreto: Estudo Experimental E Numérico Das Condições De Contorno De Estruturas Pré-Moldadas.São Carlos, 2004 Disponível em:< https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-08032005-085551/publico/tese-

petrusgbnobrega_.pdf>. Acesso em 19 de outubro de 2020

PASQUETTI, Eduardo; KRIPKA, Moacir; MEIRA, Agenor Dias; Consideração de Ações Dinâmicas no Dimensionamento de lajes de Edifícios em Concreto Armado, Rio Grande do Sul,2001. Disponível em:< https://www.researchgate.net/publication/257007443_Consideracao_de_acoes_dinamicas_no_dimensionamento_de_lajes_de_edificios_em_concreto_armado>. Acesso em 03 de outubro de 2020.

PENNER, E., BEREZOSKI, K., MOREIRA, A. ANÁLISE DO CONFORTO HUMANO PERANTE AS VIBRAÇÕES DE ESTÁDIOS DE FUTEBOL. **RETEC - Revista de Tecnologias**, Local de publicação (editar no plugin de tradução o arquivo da citação ABNT), 10, jan. 2018. Disponível em: <https://www.fatecourinhos.edu.br/retec/index.php/retec/article/view/246>. Acesso em: 19 de agosto 2020.

PINHO, F.G., MORAES, L.C**.** Vibrações Induzidas Pelo Vento Em Estruturas Metálicas: Uma Abordagem Via Elementos Finitos. 2014. Monografia- Universidade Federal de Goiás, Goiânia,2014. Acesso em 27 de março de 2020.

SANTOS, M.E, LEIRE, E.C.C. Analysis of dynamic effects induced by human activities in one-way joist concrete slabs. Disponível em: < file:///C:/Users/ferna/Downloads/7702-29001-1-PB.pdf>. Acesso em 22 de agosto de 2020.

SILVA, P.H. Acidente em obras da Vila Belmiro: parte da arquibancada cede e setor será interditado, 2017. Disponível em: https://www.90min.com/pt-BR/posts/4425064-acidente-em-obras-da-vila-belmiro-parte-da-arquibancada-cede-e-setor-sera-interditado. Acesso em 01 de setembro de 2020.

SILVA, Samuel. VIBRAÇÕES MECÂNICAS. Foz do Iguaçu, 2009. Disponível em:<http://www.joinville.ifsc.edu.br/~pauloboni/MECANISMOS/DIN%C3%82MICA%20DE%20M%C3%81QUINAS/Apostila%20-%20Samuel%20da%20SIlva%20-%20MUITO%20BOA%20-%20Did%C3%A1tica.pdf>. Acesso em 06 de agosto de 2020.

SORIANO, Humberto Lima. Introdução À Dinâmica Das Estruturas- 1. ed. - Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. Disponível em: < http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/introducao-a-dinamica-das-estruturas-elsevier-9788535251531.pdf >. Acesso em 05 de abril de 2020.

STOLOVAS, Sérgio. Arquibancadas de Estádios: Análise e Projeto Estrutural com foco no Desempenho Funcional, 2010. Disponível em:< http://www.abece.com.br/web/download/pdf/enece2010/PALESTRA%204%20-%20SERGIO%20STOLOVAS.pdf>. Acesso em: 22 de agosto de 2020.

SOBRE A AUTORA

FERNANDA TELES AZEVEDO - Possui Graduação Bacharelado em Engenharia Civil pela Universidade de Ribeirão Preto Campus Guarujá -UNAERP (2020). Inglês fluente através da WIZARD- Guarujá (2019). Técnica em Secretariado pela ETEC Alberto Santos Dumont- Guarujá (2016). Cursou Projetos na Construção Civil pela Associação Brasileira de Educação a Distância, ABED (2020). Cursou Modelando em 3D-AUTOCAD Senac Bertioga, SENAC (2019). Desenvolveu pesquisa de um Projeto de um protótipo de ponte em viga Howe utilizando macarrão espaguete (2017), onde alcançou 1º lugar na disputa do protótipo, objetivando-se resistir uma determinada carga de acordo com o tipo de viga eleita para o projeto. Além desse projeto, desenvolveu outros estudos apresentados em SICI Simpósio Internacional de Ciências Integradas da UNAERP Campus Guarujá. Iniciou sua carreira atuando como Estagiária na Prefeitura Municipal de Guarujá (2020), onde pode desenvolver suas habilidades com leituras de projetos e análises de acordo com Plano Diretor vigente da cidade. Em 2021 iniciou Especialização em Engenharia Clínica, com objetivo de aprimorar cada vez mais seus conhecimentos. Atualmente, Empresária, atuando no mercado com uma Loja de Artigos Médicos e Ortopédicos, por essa razão, teve o incentivo de continuar seus estudos com a especialização ligado a área Clínica. A autora tem se dedicado a desenvolver novos estudos na linha de pesquisa relacionados a Análise Estrutural Dinâmicas em diversos tipos de estruturas existentes na Engenharia Civil.

ANÁLISE ESTRUTUTURAL: AÇÃO DINÂMICA EM ESTÁDIO DE FUTEBOL

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora

ANÁLISE ESTRUTUTURAL: AÇÃO DINÂMICA EM ESTÁDIO DE FUTEBOL

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora